

Myymäläkalusteen tuotekehitys

Elsa Mehto

Opinnäytetyö

Joulukuu 2015

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), Hyvinvointiteknologian koulutusohjelma

Tekijä(t) Mehto, Elsa	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä 04.12.2015
	Sivumäärä 89	Julkaisun kieli Suomi
		Verkkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Myymäläkalusteen tuotekehitys		
Tutkinto-ohjelma Hyvinvointiteknologian koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) Jorma Matilainen, Matti Siistonen		
Toimeksiantaja(t) Pikval Oy		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Pikval Oy on suomalainen myymäläkalusteiden suunnittelija ja valmistaja Jyväskylän Vaajakoskella, Keski-Suomessa. Digitalisoitumista ja myymälän kiinnittämistä osaksi verkkokauppaa on pidetty mahdollisena vaihtoehtona edistää kaupan toimintaa ja asiakaspalvelua suoraan myymälässä. Tähän markkinarakoon Pikval Oy on tarttunut tarjoamallaan Digital Signage -myymäläkalusteilla. Digital Signage -tuotteet ovat mainostamiseen ja asiakkaan informoimiseen soveltuvia näyttöjä, jotka on suunniteltu osaksi myymäläympäristöä. Niiden avulla kauppiat voivat saada arvokasta tietoa asiakkaistaan ja tarjota heille kohdenetumpaa ja reaaliaikaisempaa tietoa.</p> <p>Tehtävänä oli suunnitella mahdollisimman käyttäjäystävällinen Digital Signage -myymäläkaluste, joka koostui sisällä olevasta näytöstä, erikoispeililasista, ohjelmistokomponenteista sekä suunnittelua vaativista ohutlevyosista. Suunnittelussa on huomioitu kaikki peilin mahdolliset käyttäjät aina valmistusvaiheen hitsaajasta myymälän siivoajaan. Lisäksi tuotteelta toivottiin modulaarisuutta ja sitä, että sitä voisi markkinoida lauseella "Plug and Play". Tuotteen suunnittelussa tuli ottaa huomioon ohutlevytuotteiden suunnitteluperiaatteet, käytössä olevat materiaalit sekä tehtaan kalusto.</p> <p>Tuote suunniteltiin SolidWorks-mallinnusohjelmalla. Lähtötilanteena pidettiin tuotteen ensimmäistä prototyyppiä, joka valmistui kesällä 2015. Toiseen prototyyppiin suunniteltiin rakenteen painavuuden ja huollon helpottamisen takia saranat, joiden avulla peiliä pystyssä pitävä eturunko saatiin avattua ohjelmistokomponenttien ja näytön kiinnittävän takarungon tieltä. Valmistuksen jälkeen tuote kiinnitettäisiin seinään irti maasta takarungon keyhole-reikien avulla.</p> <p>Käytettävyyden arvioimiseen käytettiin heuristista arviointimenetelmää, joka jaettiin kahteen osaan: valmistus- ja käyttövaiheeseen. Valmistusvaihetta saataisiin yksinkertaisilla muutoksilla helpommaksi, mikä vähentäisi merkittävästi asennusvirheiden mahdollisuutta. Valmiin tuotteen käytettävyydessä suurin virhe oli käyttöohjeiden puuttuminen loppuasiakkaalta. Modulaarisuutta ei pystytty toisessa prototyyppissä toteuttamaan näytön mittojen ollessa niin keskeisessä osassa tuotteen mitoituksen suunnittelussa.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Ohutlevy suunnittelu, tuotekehitys, käytettävyys, heuristinen arviointi		
Muut tiedot		

Author(s) Mehto, Elsa	Type of publication Bachelor's thesis	Date 04.12.2015
	Number of pages 89	Language of publication: Finnish
		Permission for web publica- tion: x
Title of publication Product Development of Shop Fitting		
Degree programme Degree Programme in Wellness Tehcnology		
Supervisor(s) Matilainen Jorma, Siistonen Matti		
Assigned by Pikval Ltd		
<p>Description</p> <p>Pikval Ltd is a Finnish shop fittings designer and producer in Vaajakoski, Jyväskylä. Digitaliza- tion and combining online shopping together with a retail store has been seen as a possible option to advance a shop's activity and customer service directly in the store. Pikval Ltd offers Digital Signage shop fittings to customers to fill this marketing gap. Digital Signage products are screens used for marketing and information, designed to fit in the shop environment. With them, storekeepers can get valuable information about their customers and offer them more precise and on-time information.</p> <p>The task was to design a user-friendly digital signage shop fitting, which consisted of a screen, special mirror material, electrical components and sheet metal parts that required designing. The design takes into account all potential users of the mirror. The company the product to have modularity and to be advertised with the sentence "Plug and Play". Sheet metal design principles, the available materials and the factory's equipment had to be considered when de- signing the mechanical structure of the product.</p> <p>The product was designed using SolidWorks CAD-program. The starting point of the product development was the first prototype, which was produced in summer 2015. Because of the heaviness of the structure and to enable user-friendly maintenance, gudgeons were added to the second prototype. With the gudgeons, the mirror facing part called the front body was able to open and it could be removed to access the back body, in which the screen and other software components were attached. After the manufacture the product would be attached to wall without touching the ground with the keyhole-shaped holes of the back body.</p> <p>The product's usability was evaluated using heuristic evaluation. The test was divided into two categories: usability in the manufacturing process and the usability of the finished product placed in a store. It was noticed that manufacturing would become easier by making a few changes in the design. The biggest error of the finished product's usability was the lack of end- user's manual. Modularization was not achieved in the second prototype because the tech- nical specifications of the screen formed such an integral part of designing the product.</p>		
Keywords (subjects) Product development, sheet metal design, usability, heuristic evaluation		
Miscellaneous		

Sisältö

1	Opinnäytetyön lähtökohdat.....	5
1.1	Pikval Oy.....	5
1.2	Opinnäytetyön taustatiedot	6
1.3	Opinnäytetyölle asetetut tavoitteet	8
2	Ohutlevytuotteiden suunnitteluperiaatteet.....	11
2.1	Teräsohutlevy tuotantomateriaalina.....	11
2.2	Leikkaaminen	13
2.3	Taivuttaminen särmäyspuristimella.....	18
2.4	Hitsaus.....	25
3	Käyttäjäkeskeinen suunnitteluprosessi	29
3.1	Käytettävyyden määrittely.....	29
3.2	Heuristinen arviointi	31
4	Myymäläkalusteen suunnittelun vaiheet	34
4.1	Suunnittelun lähtötilanne	34
4.2	Kokonaisuuden suunnittelu.....	43
4.3	Takarungon kehitys.....	47
4.4	Eturungon suunnittelu.....	51
4.5	Näytön kiinnitysosien suunnittelu.....	54
4.6	Yksityiskohtainen suunnittelu.....	57
5	Tuotteen heuristinen arviointi	61
6	Pohdinta.....	67
	Lähteet	70

Liitteet.....	74
Liite 1. LG 42LS33A-DS-näytön mitat.....	74
Liite 2. LG 47LS33A-DS-näytön mitat.....	75
Liite 3. Samsung EDC46 DS-näytön mitat	76
Liite 4. Saranoiden voimaliitos	77
Liite 5. Takarungon sivu- ja alatahkojen välillä oleva kiinnitysliitos.....	78
Liite 6. Takarungon levityskuva	79
Liite 7. Takarungon tekninen piirustus	80
Liite 8. Etuosan tekninen piirustus	81
Liite 9. Etuosan levityskuva	82
Liite 10. Vasemman siiven tekninen piirustus	83
Liite 11. Vasemman siiven levityskuva	84
Liite 12. Oikean siiven tekninen piirustus.....	85
Liite 13. Oikean siiven levityskuva	86
Liite 14. Näytön kiinnitysosien tekninen piirustus.....	87
Liite 15. Näytön kiinnitysosien levityskuva	88
Liite 16. Eturungon tekninen piirustus.....	89

Kuviot

Kuvio 1. Lävistysprosessi	15
Kuvio 2. Laserleikkausprosessi	17
Kuvio 3. Vapaataivutus	19
Kuvio 4. Pohjaaniskutaivutus.....	21
Kuvio 5. Minimilaippakorkeus	24
Kuvio 6. Nurkkiin tehtäviä helpotuksia	25

Kuvio 7. Hitsin a-mitta pienaliitoksessa	28
Kuvio 8. Ensimmäisten prototyyppien rakenne takaa kuvattuna	35
Kuvio 9. Etuosien rakenne ensimmäisissä prototyypeissä	37
Kuvio 10. Kotelon 3D-malli.....	38
Kuvio 11. Ensimmäinen suurempi prototyyppi Pikval Showroomissa.....	39
Kuvio 12. Ensimmäinen prototyyppi sisälsi ylimääräisiä reikiä.....	40
Kuvio 13. Ensimmäisen prototyypin kiinnitys koukkujen varaan	42
Kuvio 14. Toinen prototyyppi edestä ja takaa	45
Kuvio 15. Toisen prototyypin räjäytyskuva	46
Kuvio 16. Takarunko.....	47
Kuvio 17. Takarungon ylätahkon nurkkien loveukset	48
Kuvio 18. Alatahkon vasemman reunan pidennys	49
Kuvio 19. Keyhole-kiinnitysreikä.....	50
Kuvio 20. Pidike ohjelmistokokoonpanolle.....	51
Kuvio 21. Peilin alapidikkeen taivutus etuosassa	52
Kuvio 22. Eturungon kohdistusnasta ja -reikä.....	52
Kuvio 23. Vasen ja oikea siipi	53
Kuvio 24. Kohdistusaukko oikeassa siivessä	54
Kuvio 25. Näytön kiinnitysosa	55
Kuvio 26. Kiinnitysosan koukkuparit	56
Kuvio 27. Hitsattava sarana 80 mm.....	57
Kuvio 28. Hitsattavien saranoiden kiinnityskohdat	58
Kuvio 29. Toisen prototyypin suljettu myyntikuva	59
Kuvio 30. Toisen prototyypin avattu myyntikuva	60
Kuvio 31. Vaihtoehtoinen paikoitusmuoto	63

Taulukot

Taulukko 1. DC01-teräsohutlevyn mekaaniset ominaisuudet	12
Taulukko 2. DC01 teräsohutlevyarkin mitta- ja muototoleranssit.....	13

Taulukko 3. Suositeltavat minimilaippakorkeudet.....	23
Taulukko 4. Pikval Oy:llä käytetyt minimilaippakorkeudet	24
Taulukko 5. Ensimmäisen prototyypin osaluettelot	36
Taulukko 6. Toisen prototyypin osaluettelo.....	46
Taulukko 7. Heuristinen arviointi valmistuksen näkökulmasta.....	62
Taulukko 8. Heuristinen arviointi myymäläympäristössä	65

1 Opinnäytetyön lähtökohdat

1.1 Pikval Oy

Pikval Oy on suomalainen myymäläkalusteiden valmistaja ja suunnittelija Jyväskylän Vaajakoskella, Keski-Suomessa. Yritys on perustettu 1950-luvulla, jolloin se valmisti pääasiassa pieniä valutöitä. Myymäläkalusteista tuli kuitenkin nopeasti yrityksen päätoimiala ja yritys muun muassa kehitti ensimmäisenä Suomessa metallisen myymäläkalustejärjestelmän. (Myymätilojen ammattilainen n.d.)

Pikval kuului osaksi GWS:n kalusteteollisuutta ja 70-luvulta aina vuoteen 2005 asti, jolloin yrityksen silloinen johto osti osake-enemmistön Paanasen perheen kanssa, ja nimi palautui ennalleen Pikval Oy:ksi. Nykyinen osakekanta on myyty kokonaan Pikval Group Oy:lle, jonka osapuolia ovat yrityksen toimiva johto, toimitusjohtaja Kalevi Koistinen sekä kotimainen pääomasijoittaja Profita Management Oy:n hallinnoima rahasto. (Mt.)

Yrityksen liikeideana on edistää asiakkaidensa menestymistä ratkaisemalla heidän kaluste- ja esillepanotarpeitaan. Pikval Oy:n asiakkaita ovat perinteiset vähittäiskaupat. Yritykselle asiakkaiden tyytyväisyys, henkilöstön osaaminen, tuloksellisuus sekä vastuullisuus ovat tärkeitä arvoja. Yritys valmistaa kustannustehokkaita ja valmiita ratkaisuja asiakkailleen, huolehtii tuotteiden asentamisesta ja tarvittaessa huollosta. (Yrityksen arvot n.d.)

Pikval Oy pyrkii palvelemaan asiakkaitaan mahdollisimman laajasti. Yrityksellä on itse suunnittelemien tuotteiden lisäksi kaikille avoin verkkokauppa www.pikval.com. Yritys tarjoaa myös kalustekonsepti- ja myymäläsuunnittelua sekä projektinhallintaa. Kaikki yrityksen palvelut toimivat Vaajakoskelta käsin. (Innovatiivista osaamista myyntisi tueksi n.d.)

Pikval Oy on sertifioinut laatu- (ISO 9001) ja ympäristöjärjestelmänsä (ISO 14001). Lisäksi Pikval pyrkii suunnittelemaan jokaisen kalusteensa modulaarisiksi, jotta niitä voidaan hyödyntää eri tarkoituksessa myöhemmin. Modulaariset tuotteet ovat myös kustannustehokkaita, niin asiakkaalle kuin Pikval Oy:lle. (Ympäristö huomioidaan sekä tuotannossa että kalusteissa itsessään n.d.)

1.2 Opinnäytetyön taustatiedot

Kaupan alan tulevaisuuden arviot ovat jo kauan viitanneet siihen, että perinteinen vähittäiskauppa on jäämässä vanhanaikaisuudellaan ja muuttumattomuudellaan verkkokaupan jalkoihin. Vähittäiskaupan edustajat eivät ole keksineet ratkaisuja yhdistää digitalisoitumista oman yritykseensä sopivaksi. Vähittäiskaupalla kuluu liikaa aikaa perusasioihin, kuten esimerkiksi markkinointiin, hankintaan ja asiakaspalveluun, koska niiden jäsentely on heikkoa. (Solitan tutkimus: Kaupan trendit ja tulevaisuus 2015)

Markkinoiden muuttumista kuvaa myös vähittäiskaupan liikevaihdon kasvu suhteessa verkkokauppaan. MARK Suomen markkinointiliitto Ry:n toimitus-

johtajan Lauri Sipilän (n.d.) mukaan vähittäiskaupan liikevaihto kasvoi vuosina 2012–2013 0,1 %, kun verkkokauppa vähittäiskaupan tuotteilla puolestaan kasvoi 11,4 %.

Digitalisoitumisen ja myymälän kiinnittämistä osaksi verkkokauppaa pidetään mahdollisena vaihtoehtona edistää kaupan toimintaa ja asiakaspalvelua suoraan myymälässä. Tähän markkinarakoon Pikval Oy on myymäläkalusteiden suunnittelijana tarttunut. Yrityksen tarjoamien Digital Signage -myymäläkalusteiden ansiosta kauppiaat saavat arvokasta tietoa asiakkaistaan ja voivat tarjota kohdennetumpaa ja reaaliaikaista tietoa asiakkailleen. Digital Signage -tuotteet ovat myymäläympäristöön ja mainostamiseen kehitettyjä myymäläkalusteita, joiden sisällä on näyttö sekä asiakkaan toiveiden mukaan eri käyttötarkoituksiin soveltuvia ohjelmistokomponentteja.

Tässä opinnäytetyössä suunniteltiin yritykselle täysin uusi Digital Signage -myymäläkaluste, joka koostuu erikoispeilimateriaalista, ohjelmistokomponenteista sekä kalustetta kannattelevasta ohutlevyrakenteesta. Erikoispeilimateriaali on peili, jonka läpi voi nähdä, jos valaistus ja takana oleva väri ovat tarpeeksi kirkkaat. Muuten erikoispeilimateriaali toimii kuin tavalliset peilit.

Myymäläkalusteen mekaaninen rakenne suunniteltiin käyttämällä SolidWorks-CAD-mallinnusohjelmaa. Yrityssalaisuuksien vuoksi kokonaiset kokoonpanokuvat ja konseptisuunnitelman esittely on rajattu raportista pois, joten kuviot ja piirustukset ovat luonteeltaan sellaisia, ettei niistä saa tarkempaa selvyyttä tuotteen sisältämistä komponenteista.

Ohutlevynä käytetään Ruukin DC01 eri ainevahvuuden omaavia teräsohutlevyarkkeja, jotka leikataan oikeaan muotoon FinnPowerin Punch+Laser-levytyökeskuksella. Koneessa on normaalin kattavan levytyökeskuksen ominaisuudet sekä laserleikkaustyökalu, joka mahdollistaa monimutkaistenkin muotojen leikkaamisen.

Leikkauksen jälkeen taivutus toteutetaan särmäyspuristimella. Tehtaassa on kolme särmäyspuristinta, joista osa on uudempaa ja osa vanhempaa konemallia. Kaikki puristimet ovat numeerisesti ohjattuja ja ne sisältävät takavasteen, joka helpottaa kappaleen taivuttamista. Taivutuksen jälkeen osa osista hitsataan toisiinsa kiinni MAG-hitsauksella. Valmiiden osien ja osakokoonpanojen jälkeen ohutlevyosat maalataan mustalla pulverimaalilla.

Tuote kootaan ja testataan Pikval Oy:n tehdastiloissa. Valmis tuote lähetetään valmistuttuaan suoraan Tukholmaan koekäyttöä varten, josta saadaan lopullinen palaute tuotteen toimivuudesta ja käytöstä. Opinnäytetyössä tarkasteltiin tuotteen toisen prototyypin 3D-mallia, koska tuotteen valmistuminen viivästyi eikä sitä ehditty valmistaa ennen raportin palauttamista.

1.3 Opinnäytetyölle asetetut tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella mahdollisimman käyttäjäystävällinen erikoispeilin mekaaninen rakenne, jossa on huomioitu kaikki peilin mahdolliset käyttäjät aina valmistusvaiheen hitsaajasta myymälän siivoajaan.

Tuotteen rakenteelle annettiin erilaisia vaatimuksia, joita pyrin mahdollisuuksien mukaan huomioimaan suunnittelussa. Vaatimukset jaettiin kiinteisiin ja minimivaatimuksiin sekä toiveisiin. Kiinteitä vaatimuksia antoivat geometrioiltaan esimerkiksi erikoispeilin koko, 750 x 2000 x 6 mm, sekä näyttö ja ohjelmistokomponentit, jotka kiinnitettäisiin tuotteen sisälle.

Tuote tulisi kiinnittää tukevaan seinään kiinni, irti maasta, jotta peiliin ei tulisi jälkiä tai – pahimmassa tapauksessa – se ei menisi rikki. Tämä asettaa erityisiä vaatimuksia seinälle, johon peili kiinnitetään, mutta myös itse peilin rakenteelle. Seinään kiinnitys tekee sen, että peili ei saa tukea maasta, jolloin suunnittelussa täytyi ottaa myös suuren peilin ja ohutlevyn taipuminen huomioon.

Näyttöä käytettiin varsinaisessa tuotteessa Samsungin 46-tuumaista näyttöä, kun taas ensimmäisen prototyypin versioissa käytettiin LG:n 42- ja 47-tuumaisia näyttöjä. Näyttöön liittyi paljon kiinteitä vaatimuksia, kuten esimerkiksi etupaneelin aukon koko, näytön ulkomitat sekä VESA-kiinnitysreiät. Näyttöä ei saisi kiinnittää suoraan seinään kiinni turvallisuusvaatimusten takia, vaan sen tulisi olla jollain muulla tavalla kiinni rakenteessa.

Lisäksi Pikval Oy:lle on tärkeää, että kaikkia heidän Digital Signage -tuotteitaan voidaan markkinoida ”plug and play” -lauseella. Tämä tarkoittaa sitä, että Pikvalin asiakkaan ei tarvitse kuin kiinnittää pistoke pistorasiaan, niin myymäläkaluste on toimintavalmis. Tarvittavat ohjelmistokomponentit ovat omilla paikoillaan käyttövalmiina ja vain yksi johto lähtee myymäläkalusteesta ulos pistorasiaan kiinnittämistä varten.

Tuotteen valmistuksen tulisi onnistua yrityksen tehdastiloissa, joten materiaa-
livarastot ja laitteisto olivat rajalliset. Esimerkiksi taivuttaessa ohutlevyä tuli
ottaa huomioon särmäyspuristimen ominaisuudet sekä ylätyökalun muoto.
Värinä käytettäisiin Pikvalilta löytyvää mustaa RAL 9005-pulverimaalia,
koska tuotteen täytyy olla musta, jotta se toimisi toivotulla tavalla.

Yhtenä vaatimuksena oli myös huollon vaivattomuus. Tämä edellytti raken-
teelta helppoa avattavuutta esimerkiksi jonkun lukkomekanismin avulla.
Huoltoa tuotteeseen tarvitaan aika ajoin joka tapauksessa esimerkiksi sisälle
kertyvän pölyn tai ohjelmistoon tehtävien muutosten takia.

Yrityksen toiveena oli, että tuotteesta pystyttäisiin tekemään mahdollisimman
modulaarinen. Modulaarisuudella tarkoitetaan tuotteen jakamista erilaisiin
toiminnallisiin moduuleihin asiakastarpeiden mukaisesti (Sarinko 1999, 32).
Esimerkiksi jos asiakas pyytää suurempaa peiliä tai erilaista näyttöä, pysty-
tään pyyntö toteuttamaan ilman koko rakenteen muuttamista.

Lisäksi toiveena oli mahdollisimman vähäosainen ja ohut tuote. Ohuella tuot-
teella haettiin silmiä hivelevää ulkonäköä sekä mahdollisimman pientä tilan-
tarvetta. Toiveena oli myös, että jokaisella ohjelmistokomponentille olisi oma
paikkansa ja tarvittaessa tilaa myös lisäosille.

2 Ohutlevytuotteiden suunnitteluperiaatteet

2.1 Teräsohutlevy tuotantomateriaalina

Kaikki teräslevyt, jotka ovat ainevahvuudeltaan alle 3 mm, luetaan teräsohutlevyiksi (Matilainen, Parviainen, Havas, Hiitelä & Hultin 2011, 7). Teräsohutlevyt jaetaan valmistusmenetelmän mukaisesti kuumavalssattuihin, kylmävalssattuihin, metallipinnoitettuihin ja muovipinnoitettuihin levyihin (Aaltonen, Andersson & Kauppinen 1997, 6). Kuitenkin usein ohutlevyteräket jae-taan niiden mekaanisten ominaisuuksien eli lujuuden mukaan muovattaviin, rakenne-, lujiin muovattaviin ja erittäin lujiin muovattaviin (monifaasisiin) te-räksiin (Matilainen ym. 2011, 7). Tässä opinnäytetyössä käytettiin Rautaruu-kin DC01 kylmävalssattua teräsohutlevyä, jonka mekaanisiin ominaisuuksiin keskitytään tarkemmin.

DC01 toimitetaan joko arkeissa tai keloissa ainevahvuudesta, pituudesta ja le-veydestä riippuen (Muovattavat EN 10130 mukaiset teräket 2014). Opinnäy-tetyössä käytettiin 1,25 mm ja 1,50 mm paksuja teräsohutlevyarkkeja, joiden pinnanlaatu on B huonompilaatuisen A:n sijaan. Pinnanlaatu B:llä taataan se, että valmistettavan tuotteen paremmalla pinnalla ei ole virheitä, kuten esimer-kiksi naarmuja tai painaumia (Matilainen ym. 2011, 8). Normaali pinnankar-heus Ruukin toimittamissa teräsohutlevyissä on standardin EN 10130 mukai-nen himmeä (m), mitä käytettiin myös myymäläkalusteen ohutlevytöissä. Himmeä on pinnankarheuden R_a -arvona 0,6 - 1,9 μm . Taulukkoon 1 on lis-tattu teräsohutlevyn DC01 mekaanisia ominaisuuksia.

Taulukko 1. DC01-teräsohutlevyn mekaaniset ominaisuudet (Muovattavat EN 10130 mukaiset teräkset 2014)

Arkin leveys ($t = 0,60 - 2,00 \text{ mm}$)	1000 - 1530 mm
Pinnanlaatu	B
Pinnankarheus	himmeä (m), $R_a = 0,6 - 1,9 \text{ }\mu\text{m}$
Myötölujuus R_e , MPa ($t > 0,70 \text{ mm}$)	280 MPa
Murtolujuus R_m MPa	270 - 410 MPa (käytetty 320 MPa)
Murtovenymä $A_{80}\%$ ($t > 0,70 \text{ mm}$)	28
Plastinen muodonmuutossuhde r (mm)	-
Muokkauslujittumiseksponentti n (mm)	-
Myötöjuovattomuus	3 kk

Plastisella muodonmuutossuhteella (r) ja muokkauslujittumiseksponentilla (n) kuvataan teräksen muovattavuutta. DC01 on tarkoitettu pääsääntöisesti taivutukseen, joten teräksen muovattavuus on heikko, kun taas esimerkiksi DC06 teräksen r on 2,1 mm ja n 0,220 mm, mikä tekee siitä erityisen hyvän syvävetoon ja venytysmuovaukseen. (Matilainen ym. 2011, 8.)

Teräsohutlevyarkkien mittatoleranssit määräytyvät pääosin standardin EN 10131:2006 mukaisesti (Kylmävalssattujen teräsohutlevyjen mitta- ja muototoleranssit n.d.). Taulukkoon 2 on kirjattu DC01:n mitta- ja muototoleransseja, jotka ovat tarpeellisia levyjen työstön sekä laadun kannalta.

Taulukko 2. DC01 teräsohutlevyarkin mitta- ja muototoleranssit (Kylmävalssattujen teräsohutlevyjen mitta- ja muototoleranssit, n.d)

Paksuustoleranssi	Nimellisleveys mm		
Nimellispaksuus t = 1,21 - 1,60 mm	-1200	1201-1500	1501-
	±0,08	±0,09	±0,10
Leveystoleranssi Yläeromitta mm (Alaeromitta = 0)	+ 4	+ 5	+ 6
Pituustoleranssit Yläeromitta mm (Alaeromitta = 0)	Pituus < 1999 mm Yläeromitta 6 mm		Pituus ≥ 2000 mm Yläeromitta 0,3 % pituudesta
Tasomaisuustoleranssi	Nimellisleveys mm		
Nimellispaksuus t =1,20 - 3,00	600 - 1199	1200 - 1499	1500 -
	7	8	13
Reunan suoruustoleranssi suoruuspoikkeama = q	2 metrin matkalla q < 5 mm		Alle 2 metriä q = 0,25 % arkin pituudesta
Suorakulmaisuustoleranssi , suorakulmaisuuspoikkeama = u			Enintään 1 % arkin leveydestä

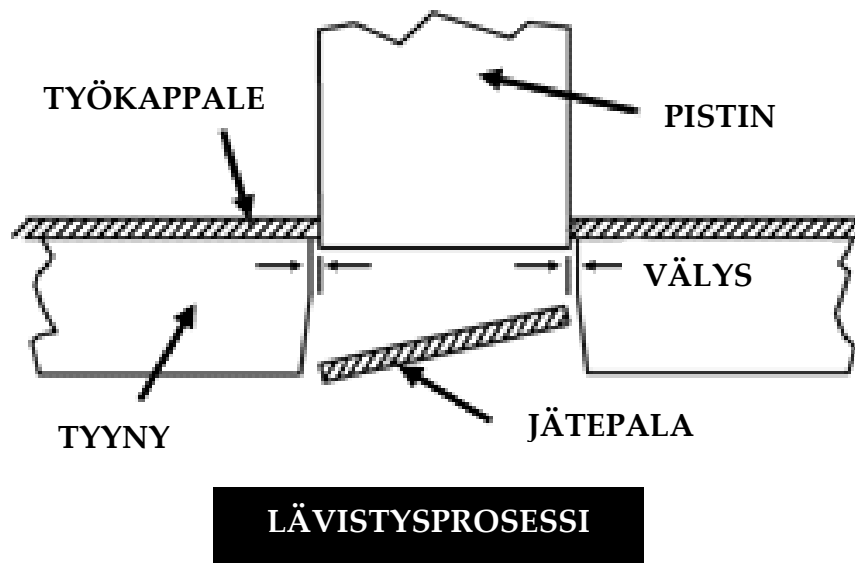
2.2 Leikkaaminen

Ohutlevylle tehtäviin ensimmäisiin toimenpiteisiin lukeutuu leikkaaminen, joka jaetaan leikattavan muodon perusteella suora- ja muotoleikkaukseen ja leikkausmenetelmän mukaan mekaanisiin ja termisiin leikkausmenetelmiin.

Mekaanisia leikkausmenetelmiä ovat esimerkiksi lävistys ja suuntaisleikkaus, kun termisiä leikkausmenetelmiä ovat muun muassa laser- ja polttoleikkaus. Termisillä leikkausmenetelmillä saadaan aikaan jouheita ja pyöreitä muotoja, kun taas mekaaniset menetelmät soveltuvat paremmin yksinkertaisten muotojen luomiseen. Mekaaniset menetelmät ovat edelleen suosiossa niiden nopeuden ja halvempien kustannusten takia, vaikka toleranssit ovatkin termisiä leikkausmenetelmiä suurempia. (Matilainen ym. 2011, 142.)

Raportissa keskityttiin leikkausmenetelmistä lävistykseen sekä laserleikkaukseen, koska ohutlevyjen muodot toteutetaan käyttämällä Pikval Oy:n tehtaalta löytyvää kombilevytyökeskusta FinnPower Punch+Laser, jossa on normaaliin levytyökeskuskoneeseen yhdistetty laserleikkaus.

Lävistämällä tarkoitetaan teräksen meistotekniikkaa, jossa työkappaleesta irrotetaan pistimen muotoa vastaava osa iskemällä pistin lujasti työkappaletta vasten. Alla oleva tyyny estää levyn vääntymisen sekä ylimääräisen muodonmuutoksen ja parantaa siten muodon tarkkuutta. (Punching n.d.) Kuviossa 1 on esitetty lävistysprosessin loppuvaihe, jossa jätepala on lähtenyt jo irti kappaleesta. Ennen jätepalan irtoamista tapahtuu teräsohutlevyssä taipuminen, myötölujuuden ylittyminen, plastinen muodonmuutos ja lopulta murtolujuuden ylittyminen, jolloin kappale murtuu. Nakerrus on lävistämistä, jossa lyödään useita lävistysreikiä yhteen ilman välejä. (Matilainen ym. 2011, 179.)



Kuvio 1. Lävistysprosessi (alkup. kuvio ks. Punching n.d.)

Levytyökeskuksiin on saatavilla useita erilaisia pistimiä, tyynejä ja irroittimia, joilla voidaan tehdä monenlaisia muotoja pelkkien reikien lisäksi, kuten esimerkiksi pieniä taivutuksia ja ilmarakoja. On tärkeää valita oikeat työvälineet oikealle teräsohutlevylle. Esimerkiksi eri ainevahvuuksiin käytetään eri tyynejä samalle pistimelle, jotta lopputuloksesta saataisiin haluttu. Yleensä on pyritty siihen, että työkaluvälys olisi noin 10–30 % levynpaksuudesta (Aaltonen ym. 1997, 40). Myös ohutlevyn materiaali vaikuttaa väläksen suuruuteen. Esimerkiksi kuparin paras leikkausvälys on 12 %, kun taas ruostumattomalla teräksellä se on 20 %. (Matilainen ym. 2011, 186.)

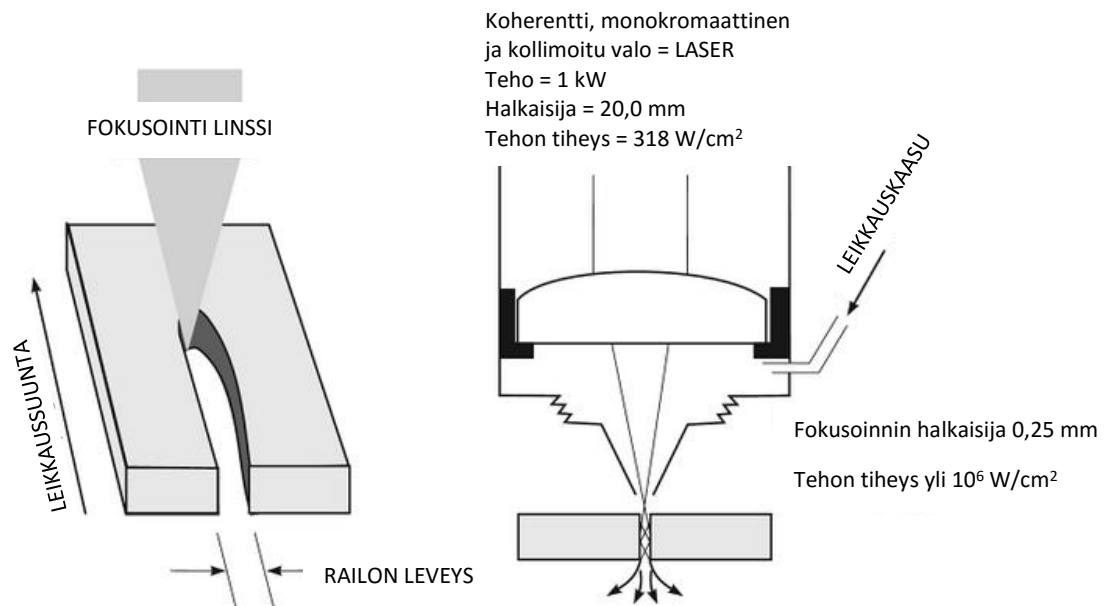
Mekaaninen lävistys sopii yksinkertaisille muodoille, pyöristyksien tekemistä tällä tekniikalla tulee välttää, koska pistinten muodot ovat usein yksinkertaisia neliöitä, kapeita suorakulmioita (leikkaustyyppinen työkalu) tai ympyröitä. Lävistysnopeutta saadaan parannettua, kun reiät ovat yhtä suuria koko

kappaleessa, jolloin työkalun vaihtoa ei tarvitse työstön aikana suorittaa. (Mts. 187.)

Lävistysreiät tulisi sijoittaa niin, että ne eivät ole liian lähellä taivutettavaa kohtaa tai levyn reunaa. Jos kappaletta taivutetaan läheltä reikää, on vaarana reiän repeäminen tai muodon muuttuminen. On todettu, että reunan ja reiän etäisyyden tulisi olla ainakin kaksi kertaa levynpaksuuden suuruinen ja taivuttaessa kolminkertainen taivutettavan reunan ulkoreunaan nähden. (Mts. 187.) Useimmilla ohutlevymateriaaleilla reiän halkaisijan tulisi olla 20 % suurempi kuin levyn paksuus, ruostumattomilla teräksillä kaksinkertainen (Zhang n.d.).

Liian kapeat lovet leikattavien muotojen välillä aiheuttavat ohutlevyyyn taipumista ja vääntymistä. Tämä voidaan estää suunnittelemalla lovet niin, että niiden välinen etäisyys on kaksinkertainen levyn paksuuteen verrattuna lyhyillä lovipituuksilla (alle 10 x levynpaksuus), ja pidemmällä nelinkertainen. (Mt.)

Laserleikkaus on terminen leikkausmenetelmä, jossa käytetään apuna lasersädettä työstettävän kappaleen leikkaamiseen. Menetelmä on yleistynyt suuresti sen joustavuuden, laadukkaan leikkausjäljen sekä nopeuden takia. Lasersäde kohdennetaan kappaleeseen suuttimesta, jonka ympärille virtaa leikkauskaasua suutinaukon sisältä (ks. kuvio 2). Laserleikkausta voidaan suorittaa polttavana, sulattavana tai höyryttävänä leikkauksena, joista kahdessa jälkimmäisessä leikkauskaasu kuljettaa irtoavan materiaalin pois leikkausrailoa apuna käyttäen. (Matilainen ym. 2011, 158–167.)



Kuvio 2. Laserleikkausprosessi (alkup. kuvio ks. Caristan 2004, 18.)

Laserleikkaus sopii kaikille materiaaleille, kunhan säädöt ovat oikeat ja materiaalin pinta ei ole liian heijastava. Tämän takia esimerkiksi alumiinin työstäminen on laserilla vaikeaa, mutta mahdollista. Metallia työstettäessä ei laserleikkauksen pitäisi jättää oikeilla leikkausparametreilla ollenkaan partaa eli pursetta kappaleeseen. (Caristan 2004, 32–34.)

Laserleikkaus soveltuu lähinnä ohuiden levyjen (< 8 mm) leikkaukseen, koska paksummilla levyillä pinnankarheus kasvaa, leikkausjälki huononee ja vauhti hidastuu ja toiset menetelmät tulevat siten edullisimmiksi (Aaltonen ym. 1997, 22). Leikkausmenetelmänä laser on todella tarkka, mittatarkkuus on noin 0,1 mm, kun materiaalin paksuus on alle 10 mm. Käytettävä leikkausprosessi kuitenkin vaikuttaa huomattavasti tähän arvoon. Railon leveys riippuu materiaalin paksuudesta sekä laserin leikkausparametreista, mutta tavallisesti se on 0,05 - 1,0 mm välillä. Hyvän leikkausjäljen takia voidaan säästää myös materiaaleissa, koska kappaleita voidaan leikata viereen. Leikkaustarkkuutensa

ja leikkauskaasun aiheuttaman suojan ansiosta laserleikkauvälineistöllä pystyy tekemään todella tarkkoja ja pieniä yksityiskohtaisia profiileja, joita voidaan hyödyntää muun muassa silloin, kun kappaletta halutaan taivuttaa käsin kiinnikkeiden muotoon. (Matilainen ym. 2011, 158–167).

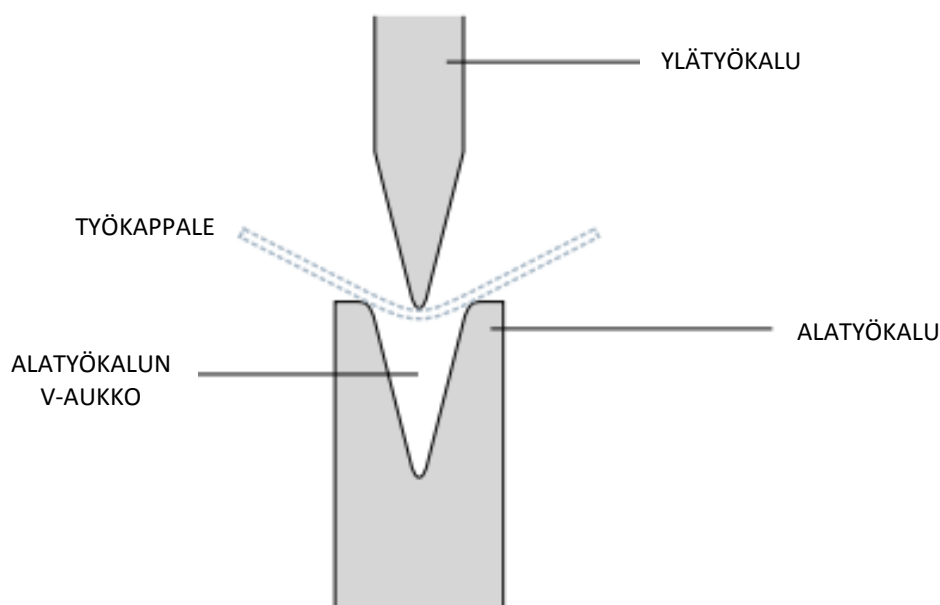
Yhdistämällä laserleikkauksen levytyökeskukseen saadaan yhdellä koneella nopeassa ajassa tuotettua monimuotoisia ja -mutkaisia kappaleita. Laserleikkaus hyötyy lävistävistä työkaluista niin, että pistimillä voidaan tehdä alku-reiät, jolloin laserleikkaus pääsee nopeasti alkuun. Myöskään kalliita pistimiä ei tarvitse niin montaa, kun laserleikkauksella voidaan leikata monimutkaiset ja pyöreähköt muodot nopeasti ja vaivatta. Jos yhtä monimutkaista muotoa valmistetaan paljon, on syytä kuitenkin harkita sille sopivan pistimen valmistamista. (Mts. 161.)

2.3 Taivuttaminen särmäyspuristimella

Taivuttamisella tarkoitetaan tasomaisen levykappaleen muovaamista niin, että siitä muodostuu eri tasoissa olevia osia, jotka ovat yhden tai useamman yhdensuuntaisen tai käyrän taivutusakselin ympärillä. Suoraan taiveeseen taivuttamista kutsutaan särmäämiseksi, jonka suunnitteluperiaatteita tarkastellaan tässä opinnäytetyössä. (Aaltonen ym. 1997, 42–43) Pikval Oy:n tehdastiloissa on käytössä kolme erilaista särmäyspuristinta, joilla taivuttaessa taivutettava kappale ei liiku levyn suunnassa vaan taive kääntyy kahdelta reunaltaan.

Aina kun kappaletta taivutetaan, esiintyy työkappaleen neutraaliakselin siirtymistä ja pientä venymistä, joita voidaan hallita niihin vaikuttavien tekijöiden tuntemisella. Näitä tekijöitä ovat muun muassa taivutettavan koneen ja työkalujen kinematiikka ja staattiset reaktiot sekä työkappaleen käyttäytyminen taivuttaessa ja sen staattiset reaktiot. (Mts. 43.)

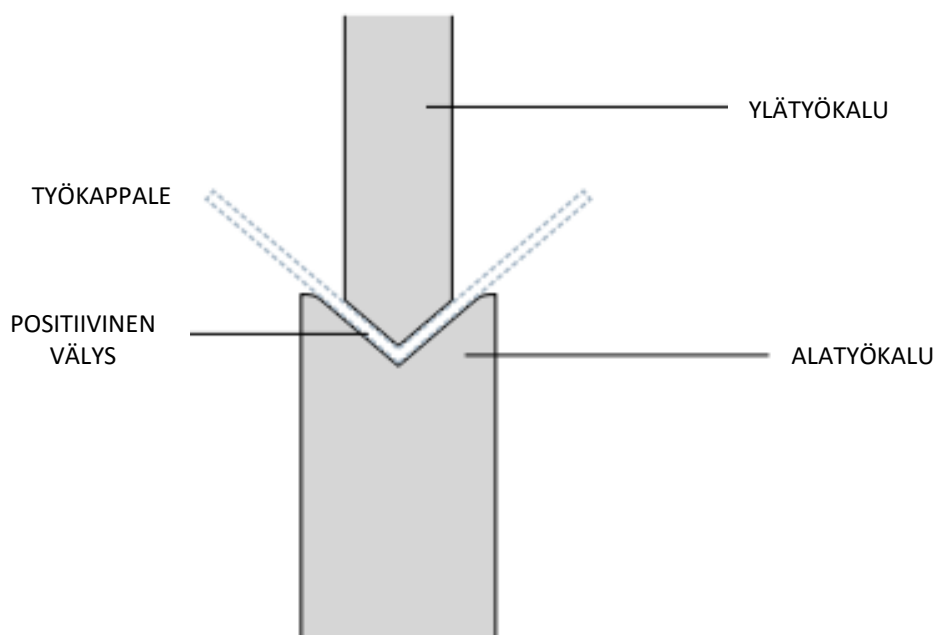
Särmäyspuristimella voidaan tehdä taivutuksia kahdella tapaa: vapaataivutuksena (air bending) tai pohjaaniskutaivutuksena (bottom bending). Vapaataivutuksessa ylätyökalu painaa työkappaleen vasten alatyökalua ilman varsinaista pakotusta siihen, että työkappale olisi täysin vasten alatyökalua (ks. kuvio 3). Taivutussäteen suuruus riippuu täysin siitä, kuinka lähelle työkappale viedään alatyökalun pohjaa ylätyökalun iskun avulla. Kulman suuruus määräytyy ylätyökalun iskun pituuden mukaisesti. Myös materiaalin muut ominaisuudet kuten esimerkiksi paksuus ja taivutuksen pituus vaikuttavat kulman suuruuteen. (Trumpf n.d.)



Kuvio 3. Vapaataivutus (alkup. kuvio ks. Trumpf n.d.)

Vapaataivutusta käytetään perusmenetelmänä taivutuksissa, joiden kulma on 30° - 179° . Se on edullisempi ja joustavampi vaihtoehto muihin menetelmiin nähden, koska vapaataivutus ei vaadi niin paljon tehoa koneelta kuin esimerkiksi pohjaaniskutaivutus. Lisäksi samalla työkaluparilla voidaan tuottaa useita erilaisia kulmia. Nykyaikaisissa laitteissa on myös huomioitu työkalupaleen takaisinjousto, jolla tarkoitetaan kappaleen sisälle taivutuksen yhteyteen jäävää kapeaa elastista muodonmuutosvyöhykettä, jonka seurauksena kappaleen särmäyksen aikana saavutettu kulma hieman kasvaa ulkoisten voimien eli tässä tapauksessa työkalujen puristuksen poistuessa (Matilainen ym. 2011, 245). Nykyään vapaataivutuksella voidaan saavuttaa $\pm 0,3^{\circ}$ kulmien tarkkuus. (Trumpf n.d.)

Pohjaaniskutaivutuksessa ylätyökalu painaa työkalupaleen alatyökäluä vasten niin, että ilmaa ei jää työkalujen eikä työkalupaleen välille (ks. kuvio 4). Tämä tarkoittaa sitä, että ylä- ja alatyökäluun täytyy sopia yhteen täydellisesti ja että jokaiselle halutulle kulmalle täytyy olla oma työkaluparinsa. Vaikka työkalut ovat jo vasten taivutettua työkalupaletta, jatkaa kone puristusta edelleen haluttuun voimaluokkaan, jolloin työkalupaleen kulma vakioituu ja takaisinjouston riski poistuu lähes kokonaan. Pohjaaniskutaivutusta käytetään suurissa ohutlevytuotannoissa, joissa on paljon 90° pienen taivutussäteen omaavia kulmia. Pohjaaniskutaivutus ei myöskään aiheuta niin paljon muodonmuutoksia rei'ille, aukoille tai vinottaisille reunoille, vaikka ne olisivatkin lähellä taivutuslinjaa. (Mt.)



Kuvio 4. Pohjaaniskutaivutus (alkup. kuvio ks. Trumpf n.d.)

Särmäyspuristimella taivutetussa kappaleessa tapahtuu muodonmuutoksia, jotka on otettava huomioon etenkin valmiissa kokoonpanossa. Ensin on kuitenkin suunniteltava kappaleen taivutuksista sellaisia, että ne on mahdollista taivuttaa olemassa olevilla särmäyspuristimen työkaluilla. Suunnittelussa pyritään tasakulmiin, kuten 45° , 90° ja 135° , koska muiden kulmien tekeminen voi vaatia työkaluparien vaihtamista. Myös taivutusjärjestys on olennainen osa ohutlevysuunnittelua. Oikean järjestyksen avulla aikaisemmat taivutukset eivät vahingoitu eikä yhteentörmäyksiä pääse tapahtumaan työkappaleen, työkalujen tai koneen välillä. Esimerkiksi taivutuskorkeudet on pidettävä suhteellisen alhaisina, jotta särmäys onnistuisi. (Mt.)

Taivutuksen yhteydessä kappale venyy taivutuksen ulkopinnalta ja puristuu kasaan sisäpuolelta. Tästä seuraa, että kappaleen pituus oikaistuna poikkeaa

ennen taivutusta olevasta kappaleesta. Oikaistu pituus riippuu taivutussäteestä, materiaalista ja levynpaksuudesta. Useimmat mallinnusohjelmat laskevat oikaistun pituuden näiden parametrien avulla automaattisesti. (Mt.)

Taivutussäteeksi halutaan yleensä niin pieni kuin mahdollista, jotta kappaleen suora ja muuttumaton pinta-ala olisi mahdollisimman suuri. Liian pieni taivutussäde voi kuitenkin aiheuttaa ohutlevyn murtumisen ulkopuolelta ja rypistymisen sisäpuolelta. Taivutussäteeseen vaikuttaa materiaali, sen paksuus sekä taivutusnopeus. Taivutussäde määritellään v-aukon leveydellä ja ylätyökalun säteellä vapaataivutuksessa. Jos taivutussäteellä ei ole kappaleen toimivuuden kannalta niin suurta merkitystä, tulisi kulman parametrit esittää jollain muulla tavalla. Nyrkkisääntönä voidaan kuitenkin pitää, että taivutussäteen tulisi olla aina suurempi kuin ohutlevyn ainevahvuuden. (Matilainen ym. 2011, 248; Trumpf n.d.)

Jotta taivutus olisi ylipäättänsä mahdollinen, on taivutettavan reunan oltava tarpeeksi pitkä, jotta taivuttaessa ohutlevy ei ”nurjahtaisi” pois työkalusta. Tarvittavaa korkeutta kutsutaan minimilaippakorkeudeksi ja se voidaan laskea kahdella erilaisella kaavalla 1 tai 2:

$$b = r_s + 2t, \tag{1}$$

jossa,

b = minimilaippakorkeus,

r_s = sisäsäde (taivutussäde)

t = levyn paksuus.

Minimilaippakorkeus voidaan määrittää myös alatyökalun v-aukon leveyden perusteella, jolloin se voidaan laskea kaavalla 2.

$$b = \frac{\sqrt{2}}{2} \times W, \quad (2)$$

jossa,

W = alatyökalun v-aukon leveys

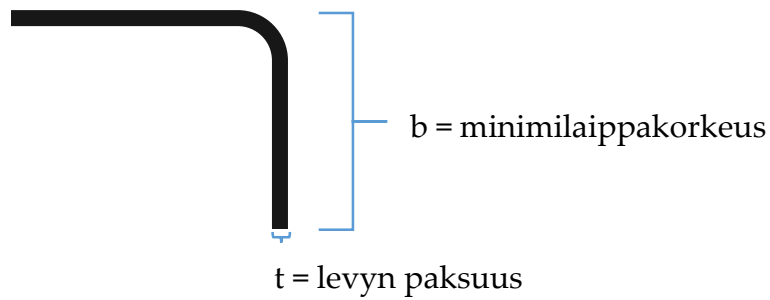
Opinnäytetyössä tarvittavat minimilaippakorkeudet on esitetty taulukossa 3. (Airila, Karjalainen, Mantovaara, Nurmi, Ranta & Verho 1985a, 49.)

Taulukko 3. Suositeltavat minimilaippakorkeudet (Airila ym. 1985a, 49)

Levyn paksuus t (mm)	Laippakorkeus b (mm)	
	Minimi	Suosittelava
1,25	3,80	6,80
1,50	4,50	9,40

Pienillä ja ohuilla teräslevyillä käytetään ohjesääntönä, että minimilaippakorkeuden tulisi olla kuusi kertaa levyn paksuus. Alle 12 mm ainevahvuisille teräslevyille, joiden murtolujuus on alle 400 MPa, käytetään kerroinlukuna kahdeksaa ja sitä suuremmille ainepaksuuksille kymmentä. (Matilainen ym. 2011, 243.)

Pikvalilla on käytössä laippakorkeuksiin oma asteikkonsa, jonka mukaan minimilaippakorkeudet taivutetaan. Laippakorkeus mitataan kappaleen ulko-reunoista (ks. kuvio 5) ja korkeudet on ilmoitettu taulukossa 4.

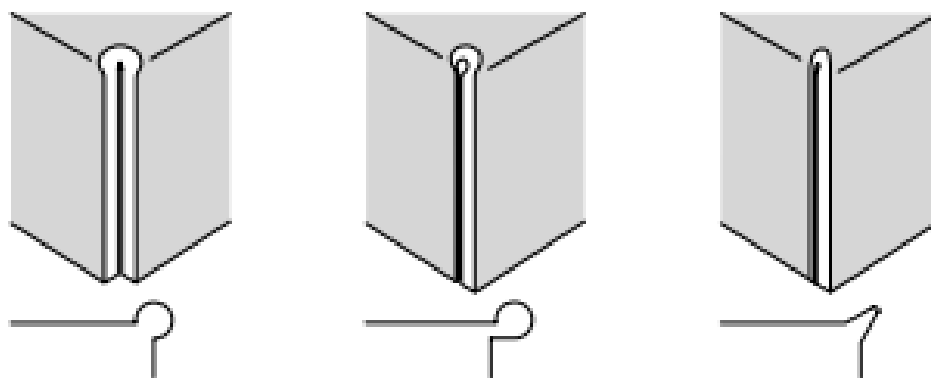


Kuvio 5. Minimilaippakorkeus

Taulukko 4. Pikval Oy:llä käytetyt minimilaippakorkeudet

Levyn paksuus t (mm)	Minimilaippakorkeus b (mm)
< 1	8
1,25	10
1,50	10
2,00	12
2,50	14

Kuten jo aikaisemmin tuli esille, reikiä tai aukkoja ei tulisi sijoittaa taivutuskohtien lähelle. Kuitenkin helpotuksia on syytä tehdä levytyökeskuksen lävistystyökalulla tai laserilla kappaleen taivutuslinjan kulmiin, jotta taivuttamista voidaan suorittaa eri suuntiin ilman ohutlevyn repeilyä. Helpotukset voivat olla joko pyöreitä, nelikulmaisia tai kyöneleenmuotoisia (ks. kuvio 6). Näin reunoista tulee siistimmän näköiset ja ne antavat vapauksia kappaleen muotoihin ja käytettävissä oleviin työkaluihin. (Trumpf n.d.)



Kuvio 6. Nurkkiin tehtäviä helpotuksia (Trumpf n.d.)

2.4 Hitsaus

Hitsauksella tarkoitetaan kahden kappaleen liittämistä toisiinsa lämmön avulla. Terästeollisuudessa perushitsausmenetelmiä ovat MIG/MAG- ja TIG-hitsaus, mutta myös muut menetelmät, kuten esimerkiksi laserhitsaus, ovat kasvattamassa suosiotaan (Trumpf n.d.). Tässä työssä käytettiin MAG-hitsausta, koska se soveltuu tavallisille rakenneteräksille ja Pikvalin tehtaassa on tarvittava MAG-hitsaukseen soveltuva laitteisto.

MAG-hitsaus (metal active gas) on kaasukaarihitsausprosessi, jossa jännite syntyy hitsauslangan ja työkappaleiden välille synnyttäen valokaaren. Valokaaren vaikutuksesta hitsauslanka sulaa liitettävien työkappaleiden väliin. Valokaari ei synny ilman suojakaasua, joka ympäröi hitsauslankaa ja suuttimen päätä. MAG-hitsauksessa käytetään jalokaasuna argonia, joka sisältää hiilidioksidia ja/tai happea tai pelkästään hiilidioksidia. (Matilainen ym. 2011, 292.)

Hitsausprosessiin vaikuttaa monet asiat, kuten esimerkiksi lisäainelangan etäisyys työkappaleesta ja sen pituus. Lisäainelangan pituus vaikuttaa valokaaren pituuteen. Hitsaussuuttimen pään kulmaa muuttamalla voidaan muuttaa hitsausjäljen muotoa. Hitsausasennon erinomaisen muuntautumisen takia MIG/MAG-hitsaus soveltuu myös robottien käytettäväksi ja erilaisiin asennusympäristöihin. (Trumpf n.d.)

MAG-hitsaus ei kuitenkaan ole kovin tarkka menetelmä ja asennusvirheet ovat yleisiä. Tämä johtuu osaksi prosessissa käytetystä valtavasta energian määrästä, joka voi aiheuttaa liiallisia muodonmuutoksia työkappaleisiin, sekä hitsaajan osaamistaidosta. (Mt.)

Aivan ohuimmilla teräsohutlevyillä, kuten myös tässä opinnäytetyössä, MAG-hitsaus suoritettiin pulssikaaren avulla. Pulssihitsaus tuo vähemmän lämpöä kappaleeseen eikä se aiheuta roiskeita hitsiin. Pulssikaari saadaan aikaan syöttämällä virtapulsseja perusvirran päälle, jolloin lisäainetta siirtyy valokaareen ainoastaan pulssien aikana. (Matilainen ym. 2011, 293.)

Hitsausvirheet on jaettavissa kolmeen ryhmään: muoto-, pinta- ja sisäisiin virheisiin. Muotovirheitä ovat esimerkiksi hitsin virheellinen muoto, valuma ja kulmapoikkeama. Pintavirheet ovat hitsin pinnalla havaittavia virheitä, kuten halkeamat ja liitosvirheet. Vaarallisimpia ovat sisäiset virheet, joita ei välttämättä huomaa hitsiä tarkastellessa ulkoa päin. Sisäisiä virheitä ovat esimerkiksi ontelot ja sulkeumat. (Mts. 281.)

Hitsausta voidaan helpottaa tekemällä ohutlevyihin muotoja, joilla osat voidaan kiinnittää hetkellisesti toisiinsa hitsauksen ajaksi. Esimerkiksi levytyökeskukseen on saatavilla työkalupistin, joka painaa pienen nypyn sille mitoitettuun paikkaan. Vastakappaleeseen tehdään nyppyä varten reikä, jolloin levyt asettuvat paikoilleen ja ne voidaan hitsata toisiinsa kiinni. Toinen yleinen tapa on tehdä liitettäviin reunoihin kohdistusmuotoja, joiden avulla reunat saadaan kohdakkain. (Ks. kuviot 22 ja 24.)

Hitsausliitoksia suunniteltaessa on hyvä tietää, mitä hitsausmenetelmiä on mahdollista käyttää ja minkälaiseen muotoon hitsaus tehdään (piena, laippa jne.) ja hitsausliitoksen mitoituskriteerit eli minkälaista kuormitusta hitsauksen tulee kestää. Hitsausliitokset jaotellaan voima-, kiinnitys-, side- ja varusteliitoksiin. Tässä opinnäytetyössä käytettiin voima- ja kiinnitysliitoksia, joiden mitoituskriteereihin perehdyttiin tarkemmin. Voimaliitos välittää rasitukset osien välillä ja se on välttämätön rakenteen toimivuuden kannalta. Kiinnitysliitoksen tehtävänä on kytkeä osia toisiinsa, jotta rakenteesta saataisiin jäykempi. (Airila, Karjalainen, Mantovaara, Nurmi, Ranta & Verho 1985b, 403-407)

Tuotteen hitsausliitokset ovat staattisesti kuormitettuja, jolloin niiden mitoittamiseen käytetään standardia SFS-EN 1993-1-3, koska kyseessä on alle 4 mm:n paksuiset ohutlevyt. Mitoittaminen toteutettiin kuitenkin standardin SFS-EN 1993-1-8 yksinkertaistetun menetelmän mukaan, siinä jännitys oletetaan leikkausjännitykseksi. Yksinkertaistetun menetelmän ehtona on, että:

$$F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd}$$

jossa,

$F_{w,Ed}$ = voiman mitoitusarvo hitsin pituusyksikköä kohti [N]

$F_{w,Rd}$ = hitsin kestävyysarvo mitoitusarvo pituusyksikköä kohti [N]

Hitsin kestävyys saadaan laskettua kaavalla 3:

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} a l_{eff} \quad (3)$$

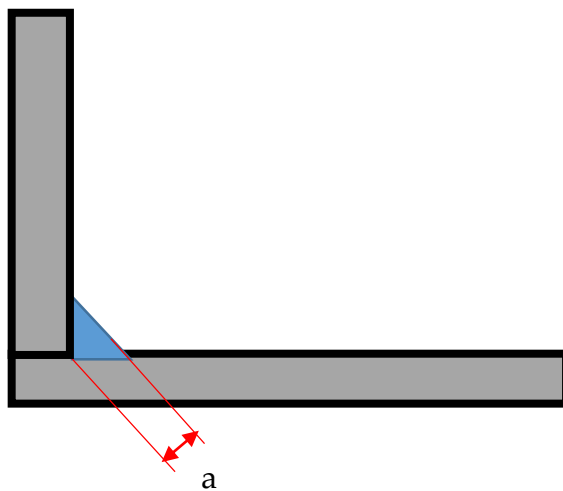
jossa,

$f_{vw,d}$ = hitsin leikkauslujuuden mitoitusarvo [N/mm]

a = hitsin a-mitta [mm]

l_{eff} = hitsin pituus

Hitsin a-mitalla tarkoitetaan pienahitsissä suurimman mahdollisen kolmion korkeutta, joka voidaan piirtää työkappaleiden liitoskulman ja sen vastakkaisen sivun välille (ks. kuvio 7). Jos kulma on yli 120° , tulisi hitsauksen pitävyys testata kokeellisesti. A-mitan täytyy olla vähintään 3 mm, jotta jäähtyminen ei tapahtuisi liian nopeasti. (Matilainen ym. 2011, 112, 114.)



Kuvio 7. Hitsin a-mitta pienaliitoksessa

Hitsin pituudessa on huomioitava, että se täyttää seuraavat standardin SFS-EN 1993-1-8 mukaiset ehdot:

$$30 \text{ mm tai } 6a < l_{eff} < 150a$$

Hitsin leikkauslujuuden mitoitusarvo lasketaan kaavalla 4:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3}\beta_w\gamma_{M2}} \quad (4)$$

jossa,

f_u = Teräksen murtolujuus [N/mm²]

β_w = Rakenneteräksen korrelaatiokerroin. Työssä käytettiin S 320 (DC01) rakenneterästä, jonka korrelaatiokerroin on n. 0,9.

γ_{M2} = Varmuuserroin. Rakenneteräksillä varmuuserroin on 1,25.

3 Käyttäjäkeskeinen suunnitteluprosessi

3.1 Käytettävyyden määrittely

Käyttäjäkeskeisellä suunnittelulla tarkoitetaan suunnitteluprosessia, joka pyrkii suunnittelemaan tuotteen loppukäyttäjän näkökulmasta, kuinka sitä ymmärretään ja käytetään. Käyttäjäkeskeisen suunnittelun avulla pyritään siihen, että tuote tarjoaa käyttäjälleen tehokkaamman ja miellyttävämmän käyttäjäkokemuksen. (Introduction to User-Centered Design n.d.)

Kansainvälinen standardi ISO 9241-11 määrittää tuotteen käytettävyyttä vapaasti suomennettuna niin, että tietty joukko ihmisiä saa aikaan halutut tulokset tehokkaasti ja miellyttävällä tavalla määritellyssä ympäristössä. Käytettävyys voidaan jakaa tämän pohjalta kolmeen kategoriaan: tuottavuuteen, tehokkuuteen ja tuotteen miellyttävyyteen. Tuottavuudella tarkoitetaan sitä, saako käyttäjä suoritettua tehtävät, joita hän haluaa tehdä kyseisellä tuotteella. Tehokkuus määrittelee sen, kuinka kauan käyttäjällä kuluu voimia tai aikaa kyseisen tehtävän suorittamiseen. Miellyttävyydellä kuvataan käyttäjän halua käyttää kyseistä tuotetta, esimerkiksi kuinka helpoksi hän kokee tuotteen käytön. (What is usability 2006.)

Tuotteen kehityksen kannalta on tärkeää tietää, ketkä tuotetta käyttävät, mikä on käyttäjän tavoite, missä tuotetta käytetään ja mitä käyttäjät joutuvat varsinaisesti tekemään käyttäessään tuotetta. Tehtävät, joita käyttäjä joutuu tekemään päästäkseen tavoitteeseensa, asettavat tuotteelle uusia vaatimuksia, jotka tulee myös huomioida suunnittelussa. (Sinkkonen, Kuoppala, Parkkinen & Vastamäki 2006, 15.) Tässä opinnäytetyössä myymäläkalusteen pääkäyttäjänä voidaan pitää myymälän asiakasta, mutta myös muut henkilöt, kuten esimerkiksi myyjä, siivoja, huoltomies ja Pikvalin työntekijä, ovat tuotteen käyttäjiä. Jo käyttäjien luetteloinnista selviää, että jokaisella käyttäjällä on oma tavoitteensa tuotteen suhteen, jolloin myös myymäläkalusteen suunnittelussa täytyy huomioida heidän tehtävänsä tuomat vaatimukset.

Monet seikat puolustavat ajatusta käyttäjäkeskeisestä tai ihmislähtöisestä suunnittelusta. Saariluoman (2004, 13–15) mukaan ihmislähtöisen suunnittelutavan paremmuuden voi nähdä viidellä erilaisella tavalla, joita ovat suunnitteluvirheiden väheneminen, käytettävyyden paraneminen ja siten kasvavien

vaatimusten parempi huomioiminen, yksilöllistäminen, piilevän vuorovaikutuksen eli ohjelmistoteknologian kehittyminen sekä suunnitteluprosessin helpottuminen, koska käyttötilanteet ovat jo selvillä ennen varsinaista laitesuunnittelua. Jotta tuotteet voitaisiin suunnitella käyttäjäystävällisiksi, ovat ihmisen tavoitteet, tarpeet, rajoitukset ja mieltymykset otettava huomioon heti alusta alkaen (Mts. 2004, 188).

Esimerkkikäyttäjien avulla voidaan muodostaa käyttäjäryhmiä, jotka toimivat tuotteen käytön kannalta samalla tavalla keskenään. Suunnittelussa käyttäjäryhmien käyttäjäpersoonia hyväksikäyttämällä voidaan suorittaa käyttöskenaarioita, joissa pohditaan, miten käyttäjä tulisi toimimaan tuotteen kanssa saavuttaakseen halutun tavoitteensa. (Sinkkonen ym. 2006, 29.)

3.2 Heuristinen arviointi

Kun suunnitteluprosessi on edennyt vaiheeseen, jossa tuotteesta on valmiina ainakin prototyyppi tai toimintamalli 3D-muodossa, voidaan sille suorittaa käytettävyydestestauksia. Yksi tapa arvioida tuotteen käytettävyyttä on suorittaa tuotteelle heuristinen arviointi. Heuristisessa arvioinnissa (asiantuntija-arviointi) pieni määrä kyseisen tuotteen tai käytettävyyden asiantuntijoita tutkivat tuotetta ja arvioivat sen käyttöliittymää käytettävyyden peruseräpäätteistä koostuvan eli heuristiikan muistilistan avulla (Nielsen 1995b).

Heuristisen arvioinnin tavoitteena on löytää tuotteesta käytettävyysoongelmia. Yksi ihminen ei ole pystynyt löytämään tuotteesta kaikkia ongelmia, mutta on

todettu, että eri ihmiset löytävät tuotteesta erilaisia vikoja. Täten arviointi olisi hyvä suorittaa noin 3–5 arvioijalla, jotta tuotteesta löytyisi lähes kaikki käytettävyydevirheet. Suuremmalla arvioijien määrällä ei ole havaittu olevan merkitystä ongelmien määrän löytymiseen. (Mt.)

Jokainen arvioija tutkii tuotetta itsenäisesti ilman, että muut arvioijat näkevät tilannetta tai hänen löytämiään käytettävyydevirheitä. Vasta kaikkien tutkinnan jälkeen arvioijat kokoontuvat ja laittavat löydökset kasaan. Heuristinen arviointi on melko nopea tuotteen arviointimenetelmä, koska käytännössä tulokset saadaan heti viimeisen arvioinnin jälkeen eikä varsinaista testaajaa tarvita, vaan arvioija toimii itse testaajana. Normaalisti testit kestävät kahdesta kolmeen tuntiin. Joissain tapauksissa voidaan käyttää havainnoijaa, jonka tehtävänä on kirjoittaa ylös tai kuvata arvioijan tekemiä analyyseja tuotteen arvioinnin aikana. Havainnoitsija voi myös tarvittaessa auttaa arvioijaa pääsemään eteenpäin jossain tuotteen ongelmassa, mikä on käytettävyydestaustissa selvästi rajatumpaa ja testin kannalta merkittävämmässä osassa. (Mt.)

Arvioinnin aikana arvioija tutkii tuotteen käyttöliittymää useasti ja tutkii erilaisia menetelmiä käyttäen tuotetta heuristisen muistilistan avulla. Heuristinen muistilista pitää sisällään peruseriaatteita, joiden avulla saadaan aikaan käytännöllinen käyttöliittymä. Heuristisia muistilistoja on useita, joista eniten käytetty on Jacob Nielsenin kehittämä 10-kohtainen muistilista:

1. Laitteen tila: kertooko laite/tuote käyttäjälleen sen tämänhetkisen tilan.
2. Laitteen vastaaminen todellisuutta: laite käyttää samanlaista termistöä ja kieltä kuin käyttäjä.

3. Käyttäjän kontrolli ja vapaus: Käyttäjä hallitsee laitetta ja voi esimerkiksi korjata tekemänsä väärän liikkeen.
4. Jatkuvuus ja standardit: Käyttäjän ei tarvitse miettiä sanojen merkityksiä, esimerkiksi taaksepäin on aina back, eikä esimerkiksi exit.
5. Virheen estäminen: Käyttäjää pyritään estämään mahdolliset virheet. Esimerkiksi: "Haluatko varmasti sulkea sovelluksen?"
6. Tunnistaminen mieluummin kuin muistaminen: Käyttäjän tulisi mieluummin tunnistaa oikeat menetelmätavat kuin muistaa ne.
7. Joustavuus ja tehokas käyttö: Laite mukautuu käyttäjälleen sopivaksi, jotta käyttäjä voisi käyttää sitä mahdollisimman tehokkaasti.
8. Esteettinen ja minimalistinen ulkonäkö: Käyttäjää ei tulisi kuormittaa liiallisella informaatiolla.
9. Auttaa käyttäjää tunnistamaan, arvioimaan ja toipumaan virheistä: Ilmoittaa virheistä ja tarvittaessa ohjaa käyttäjää oikeaan suuntaan virheen korjaamiseksi tai vian löytämiseksi.
10. Apu ja dokumentaatio: Käyttäjän on mahdollista hakea apua esimerkiksi ohjeista. (Nielsen 1995a.)

Muistilistan läpikäymiseen ja kohteiden käytettävyydevirheiden suuruuden arvioimiseen voi käyttää useita erilaisia arviointimenetelmiä, kuten esimerkiksi riskianalyyseista tuttua menetelmää, jossa ongelman vakavuus kerrotaan sen todennäköisyydellä, arviointia asteikolla 1-4 tai liikennevalomenetelmää.

Liikennevalomenetelmässä käytetään vihreää, keltaista ja punaista väriä kertomaan, kuinka hyvin tuote toimii kullakin heuristisen muistilistan osa-alueella. Vihreällä värillä kerrotaan, että laitteessa ei ole tällä osa-alueella mitään vikaa. Keltainen väri kuvastaa puutteita tai virheitä laitteessa, jotka vaativat korjausta, mutta niitä ei ole kiire korjata. Esimerkiksi keltaisen värin omaavia

listan kohtia voidaan pohtia seuraavan prototyypin tai päivityksen teon yhteydessä. Punainen väri kertoo siitä, että käytettävyyssvirheeseen on puututtava heti, jotta laite saataisiin toimimaan käyttäjän haluamalla tavalla. (Siistonen 2015.)

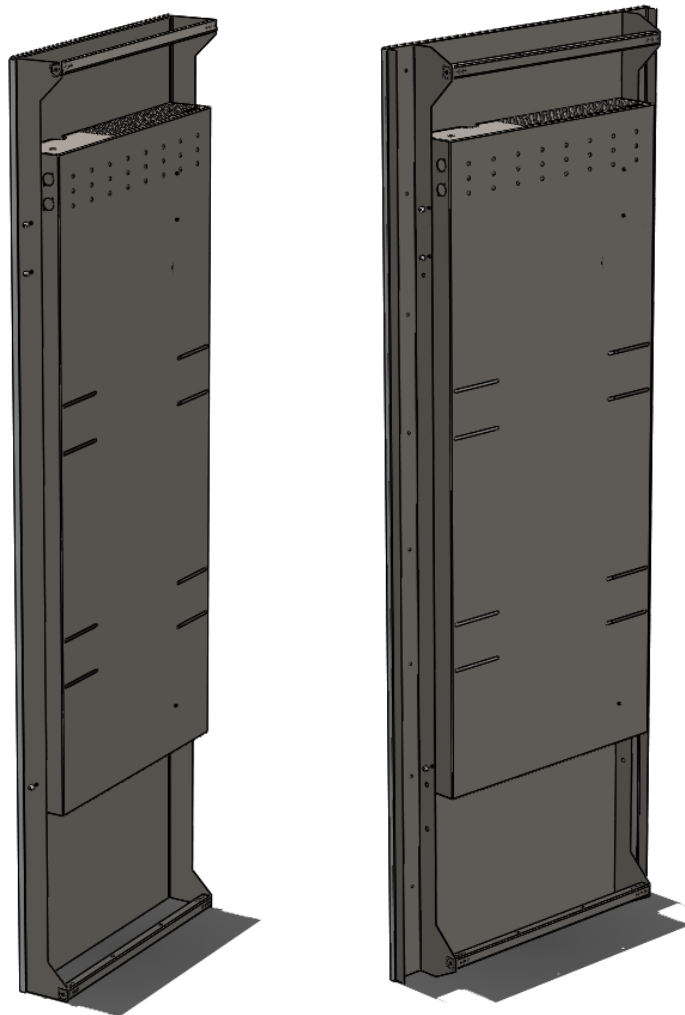
Yksinkertainen heuristinen arviointi ei ota kantaa siihen, kuinka virheitä voitaisiin korjata. Kuitenkin arvioinnin jälkeisellä lyhyellä keskusteluosioilla arvioijien ja havainnoitsijan kesken voidaan saada aikaan parannusehdotuksia tuotteen käytettävyyteen. (Nielsen 1995b.)

4 Myymäläkalusteen suunnittelun vaiheet

4.1 Suunnittelun lähtötilanne

Tehtäväni oli suunnitella Digital Signage -myymäläkalusteen mekaaninen rakenne ohutlevystä. Tuote koostui erikoispeilistä, ohjelmistokomponenteista, Digital Signage -tuotteisiin soveltuvasta näytöstä sekä suunnittelua vaativista teräsohutlevyosista. Tavoitteena oli suunnitella tuotteesta mahdollisimman käyttäjäystävällinen jokaisessa sen elinkaaren vaiheessa. Peilin koko, näyttö, ohjelmistokomponentit sekä Pikvalin tuotantotilat antoivat rajoitteita tuotteen suunnittelulle.

Olin mukana suunnittelemassa myymäläkalusteen ensimmäistä prototyyppiä, joka valmistui kesäkuussa 2015. Lähdin suunnittelemaan tässä opinnäytetyössä tarkasteltavaa toista prototyyppiä ensimmäisen prototyypin pohjalta. Ensimmäistä prototyyppiä valmistettiin kaksi kappaletta, 600 x 2000 mm ja 750 x 2000 mm kokoisille peileille (ks. kuvio 8). Muuten prototyyppien osat olivat samanlaisia, mutta suuremmassa peilissä käytettiin 47":n ja pienemmässä 42":n näyttöä. Lisäksi eturungon muotoilu oli hieman erilainen toisiinsa nähden.



Kuvio 8. Ensimmäisten prototyyppien rakenne takaa kuvattuna. Vasemmalla koko 600 x 2000 (42") ja oikealla koko 750 x 2000 (47")

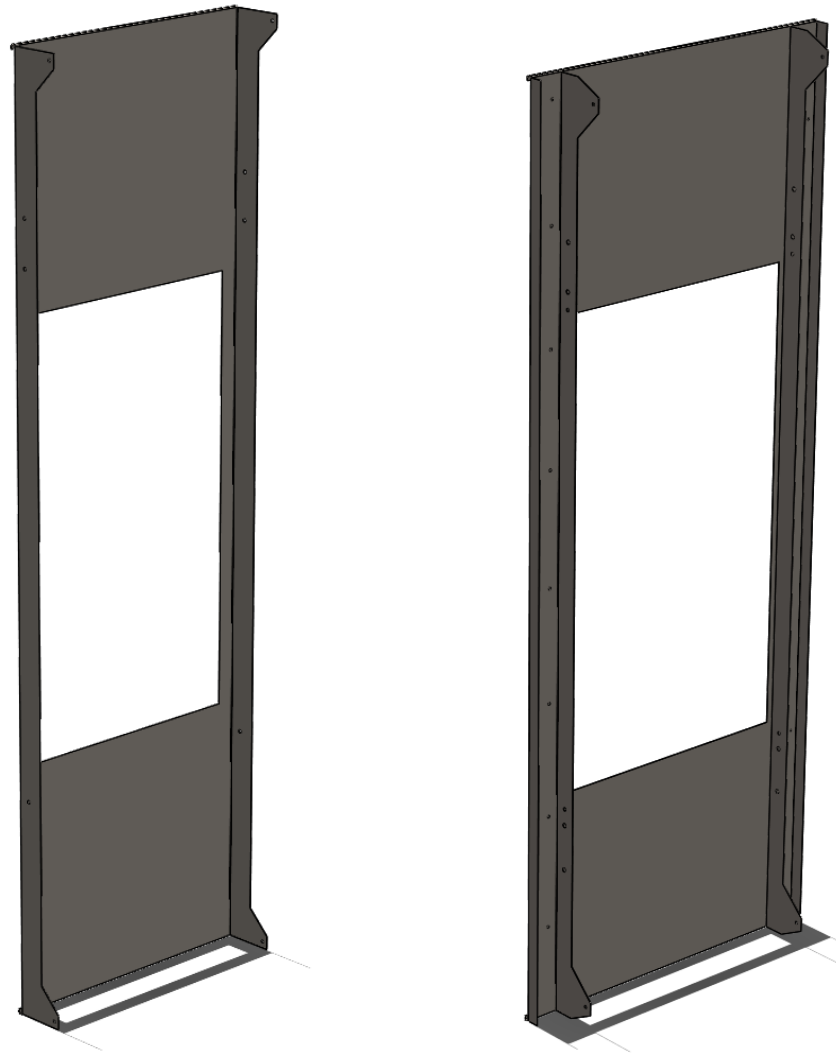
Ensimmäinen prototyyppi koostui 2–4 ohutlevyosasta, 2 rakenneteräspannista, näytöstä, peilistä ja ohjelmistokomponenteista. Rakenteet kiinnitettiin yhteen käyttämällä kierreniittejä ja niihin sopivia ruuveja. Kierreniittiä varten suunnittelin ohutlevyosiin etukäteen reikiä, johon niitit voitiin asentaa. Kierreniitti asetettiin ohutlevyn reikään ja sen kaulusosa vedettiin kiinni kiinnitystyökalun avulla. Ohutlevy jäi kiinni kauluksien väliin, minkä jälkeen toinen ohutlevyosa voitiin kiinnittää ruuvien avulla paikoilleen.

Siivet hitsattiin suuremmassa peilikokoonpanossa etuosaan kiinni ja rakenneteräspannistaan asetettiin muovipaisuvainen, jotta putket saatiin etuosan siipiin kiinni ruuveilla. Tuote nostettiin seinään kiinnitettyjen koukkujen varaan noin 30 cm:n korkeudelle maasta, jotta siihen ei vahingossa osuttaisi esimerkiksi jalalla. Täydellinen osaluettelo molempiin prototyyppihin lukuun ottamatta ohjelmistokomponentteja on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Ensimmäisen prototyypin osaluettelot

600 x 2000 (42")	Kpl-määrä	750 x 2000 (47")	Kpl-määrä
Etuosa	1	Etuosa	1
		Siipi	2
Kotelo	1	Kotelo	1
Kiinnityspannista 25 x 25 x 2,5	2	Kiinnityspannista 25 x 25 x 2,5	2
Sivulista	2	Sivulista	2
Kierreniitti M6 x 16	4	Kierreniitti M6 x 16	4
Kuusiokoloruuvi M6 x 14	4	Kuusiokoloruuvi M6 x 14	4
Kuusiokoloruuvi M6 x 50	4	Kuusiokoloruuvi M6 x 50	4
Kuusiokoloruuvi M6 x 30	4	Kuusiokoloruuvi M6 x 30	4
Paisuvainen (muovi)	4	Paisuvainen (muovi)	4
LG:n DS-näyttö 42"	1	LG:n DS-näyttö 47"	1

Pienemmässä peilissä siivet ja etuosa on valmistettu samasta ohutlevyosasta, jolloin säästettiin materiaalia ja aikaa hitsauksen jäätyä pois. Tämä onnistui sen takia, että kotelo-osa on molemmissa prototyypeissä samanlainen. Kuviossa 9 on esitetty etuosien rakenne ja kuviossa 10 kotelon muotoilu.



Kuvio 9. Etuosien rakenne ensimmäisissä prototyypeissä



Kuvio 10. Kotelon 3D-malli

Suunnittelin kiinnitysreiät näytöissä yleisesti käytössä olevan VESA-kiinnitysstandardin mukaan. Standardissa kiinnitysruuviin reiät on asetettu ennalta sovittujen mittojen mukaan näytön keskipisteen ympärille. VESA-standardin yleisimmät mitat ovat 200, 400 ja 600, joista 400- ja 600-mitat ovat nähtävillä ensimmäisen prototyypin kotelossa. Kotelon reiät muotoiltiin soikeaksi, jotta näyttöä voitaisiin liikuttaa horisontaalisti. Näin näytön reunat saataisiin kohdistettua etuosan aukon reunoihin. Yleensä näyttöjen ylä- ja alareunat ovat eri paksuiset, mutta sivureunat samanlaiset. Kun näyttö käännetään pystyyn, vaihtuu ylä- ja alareuna sivulle aiheuttaen sen, että näytön origo ei ole samassa kohdassa etupaneelin aukon origon kanssa. Ensimmäisessä prototyypissä käytettyjen näyttöjen mitat on esitetty liitteissä 1 ja 2.

Peili liu'utettiin paikoilleen etuosan sivulta. Peilin liu'uttamisen jälkeen koko rakenne nostettiin koukkujen varaan (ks. kuvio 11). Peilin sivuille olisi pitänyt vielä kiinnittää alumiinilistat, mutta niitä ei tähän prototyyppiin liitetty kapalemäärän vajavaisuuden takia. Ohutlevyosat saatiin valmistettua piirustusten mukaan ilman ongelmia.



Kuvio 11. Ensimmäinen suurempi prototyyppi Pikval Showroomissa

Kokoonpanossa sekä tuotteen asentamisessa havaittiin mittavia ongelmia, mitä lähdettiin toisessa prototyypissä ensisijaisesti korjaamaan. Näyttöä asennettaessa kotelon ja näytön välille huomattiin jäävän tyhjää tilaa, jolloin pysyyn nostettaessa näyttö kallistui kohti koteloa jättäen näytön ja etuosan irti

toisistaan. Tämä oli ongelmallista, koska yksi tärkeimmistä ehdoista tuotteen toimivuuden kannalta oli, että näyttö olisi aivan kiinni etuosan aukon reunoissa. Ensimmäiseen prototyyppiin kotelon ja näytön väliin asennettiin korialuslevyjä sekä puupaloja, joiden läpi oli valmiiksi porattu sopivan kokoinen reikä. Näiden avulla näyttö saatiin pysymään vasten etuosaa, mutta asentaminen oli erittäin hankalaa korialuslevyjen ja puupalojen pudotessa toistensa päältä koteloa asetettaessa oikealle paikalleen. Oli kuitenkin selvää, että tällaista ratkaisua ei olisi kannattavaa tehdä toiseen prototyyppiin.

Myös näytön kohdistaminen oli hankalaa ensimmäisessä prototyyppissä, koska näytön ja etupaneelin reunoja ei pystynyt kunnolla tarkkailemaan etupaneelin ollessa peilipuoli vasten asennuspöytää, jolloin näyttö peitti etuosan aukon reunat. Samalla huomattiin, että siivet ja kotelot sisälsivät rakenteen kannalta turhia kiinnitysreikiä, koska vähemmilläkin kiinnityksillä rakenteesta tuli tarpeeksi kestävä (ks. kuvio 12).



Kuvio 12. Ensimmäinen prototyyppi sisälsi ylimääräisiä reikiä

Kokoonpanon asennus ja huoltaminen oli työlästä, koska jos näyttö oli hieman liian vasemmalla tai oikealla, jouduttiin koko kokoonpano avaamaan. Ensin rakenne piti kaataa takaisin asennuspöydän päälle ilman peiliä, irrottaa kotelo etuosasta, irrottaa näytön kiinnitysruuvit kotelosta ja nostaa kotelo pois kokoonpanon päältä. Vasta sitten päästiin liikuttamaan näyttöä oikealle kohdalle. Siltikään ei ollut varmaa, oliko näyttö vieläkin paikoillaan, koska reunojen kohdistumista toisiinsa ei pystynyt seuraamaan tässä asennusasennossa. Tämän jälkeen kaikki piti tietenkin laittaa uudestaan kiinni varovaisesti, jotta näyttö pysyisi oikeassa kohdassa ja korialuslevyt ja puupalat eivät sortuisi tai muuttaisi näytön paikkaa.

Osa kokoonpanon sisälle tulevista ohjelmistokomponenttien sähköjohdoista olivat liian lyhyitä, jolloin ne eivät yltäneet kotelon ulkopuolelle johtoja varten suunnitellusta kolosta. Kotelossa huomattiin olevan tarpeeksi ilmanottoaukkoja, jotta ohjelmistokomponentit ja näyttö eivät pääse ylikuumentamaan. En suunnitellut ilmanottoaukkoja rakenteen sivureunoille, koska myymälävaras olisi voinut hyödyntää niitä hintalappujen kätkemiseen. Kotelon takapinnassa olevat nippusiteille tarkoitetut reiät toimivat samalla myös ilmanottoaukkoina, mikä lisäsi ilman kiertämistä rakenteen sisällä entisestään, koska kotelon pinta jäi hieman irti kiinnitysseinästä koukkujen paksuuden takia (ks. kuvio 13).



Kuvio 13. Ensimmäisen prototyypin kiinnitys koukkujen varaan

Kun kokoonpano oli vihdoin saatu valmiiksi, huomattiin kokonaisuuden olevan liian painava yhden ihmisen nostettavaksi peileineen paikoilleen ylös koukkujen varaan. Ammattikäytössä viitearvona yksittäiselle nostotyölle käytetään 25:tä kilogrammaa, jota muutetaan nostotyön laadun mukaan kertomien avulla (SFS-EN 1005-2 + A1, 2009, 18). Pienemmän mallin painoksi mitattiin noin 51 kg ja suuremman jopa 63 kg. Toisen prototyypin suunnittelussa pyrin siihen, ettei standardin mukaista maksimikuormaa rikottaisi ja että yksi henkilö pystyisi huoltamaan tuotetta ilman peilin irrottamista kokoonpanosta.

4.2 Kokonaisuuden suunnittelu

Lähdin parantamaan kokonaisuutta ensimmäisessä prototyypissä havaittujen käytettävyysohjelmien kautta. Halusin rakenteesta yksinkertaisemman ja sellaisen, että sitä tarvittaessa voitaisiin huoltaa nopeasti ja helposti. Toisessa prototyypissä käytettäisiin eri valmistajan näyttöä (ks. liite 3), mikä aiheutti myös muutoksia rakenteeseen.

Käytettävyys paransi huomattavasti, jos tuotteen sisältöä pääsisi huoltamaan ilman rakenteen irrottamista seinästä ja peilin poisottamista etuosan päältä. Koin parhaaksi ratkaisuksi suunnitella ovimallisen ratkaisun, jossa eturunko kiinnitettäisiin takarunkoon saranoiden avulla. Asentaminen ja huoltaminen helpottuisivat huomattavasti, kun rakenteen osakokoonpanot saataisiin irti toisistaan saranoiden kohdalta. Samalla myös tuotteen nostopaino puolittuisi, koska eturungon peileineen voisi nostaa paikalleen vasta takarungon seinään kiinnittämisen jälkeen.

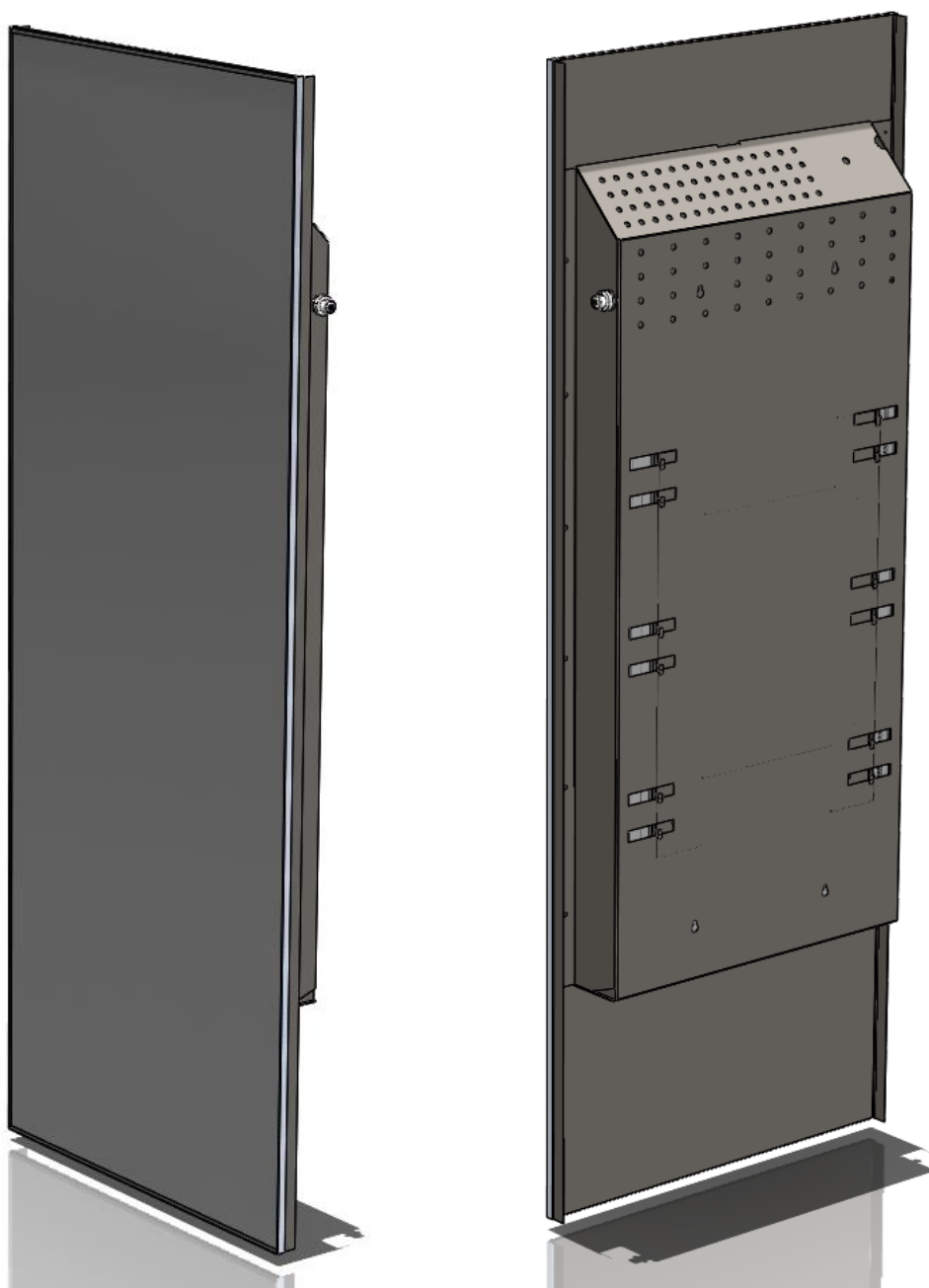
Tein tuotteen osista tarvittavat tekniset piirustukset eli työ kuvat 3D-malleista SolidWorks-ohjelmalla (ks. liitteet 6–16). Levityskuvat siirretään numeerisesti ohjattuun levytyökeskukseen dxf.-tiedostomuodossa, minkä seurauksena erilisiä mitoituksia lävistykseen ei tarvita. Työkuvat sisältävät taivuttamista ja hitsausta varten tärkeimmät tiedot, kuten esimerkiksi taivutuksien ulkomitat tai hitsausmenetelmän. Opinnäytetyöhön liitetyistä piirustuksista on poistettu otsikkotaulukko niiden salattavuuden takia. Noudatin työ kuvissa yrityksen omia teknisen piirustuksen ohjeita ja ne on todettu valmistuksen kannalta päteviksi.

Suunnittelin toisen prototyypin ensisijaisesti suuremmalle, 750 mm leveälle peilille, jossa siivet (ks. liitteet 10–13) hitsataan kiinni etuosaan (ks. liitteet 8 ja 9). Etuosa ja siivet muodostavat yhdessä toisen prototyypin eturungon (ks. liite 16). Suunnittelin saranat hitsattavaksi kiinni takarungon ja oikeanpuoleisen siiven välille. Toiselle puolelle suunnittelin lukitusjärjestelmän, jonka saisi auki vain lukkoon sopivalla avaimella. Tästä siis johtuu, että siivet eroavat toisistaan huomattavasti. Jouduin myös lyhentämään siipien pituutta, jotta takana olevasta kotelorungosta saatiin tarpeeksi kompakti. Samalla säästettiin myös materiaalikustannuksia.

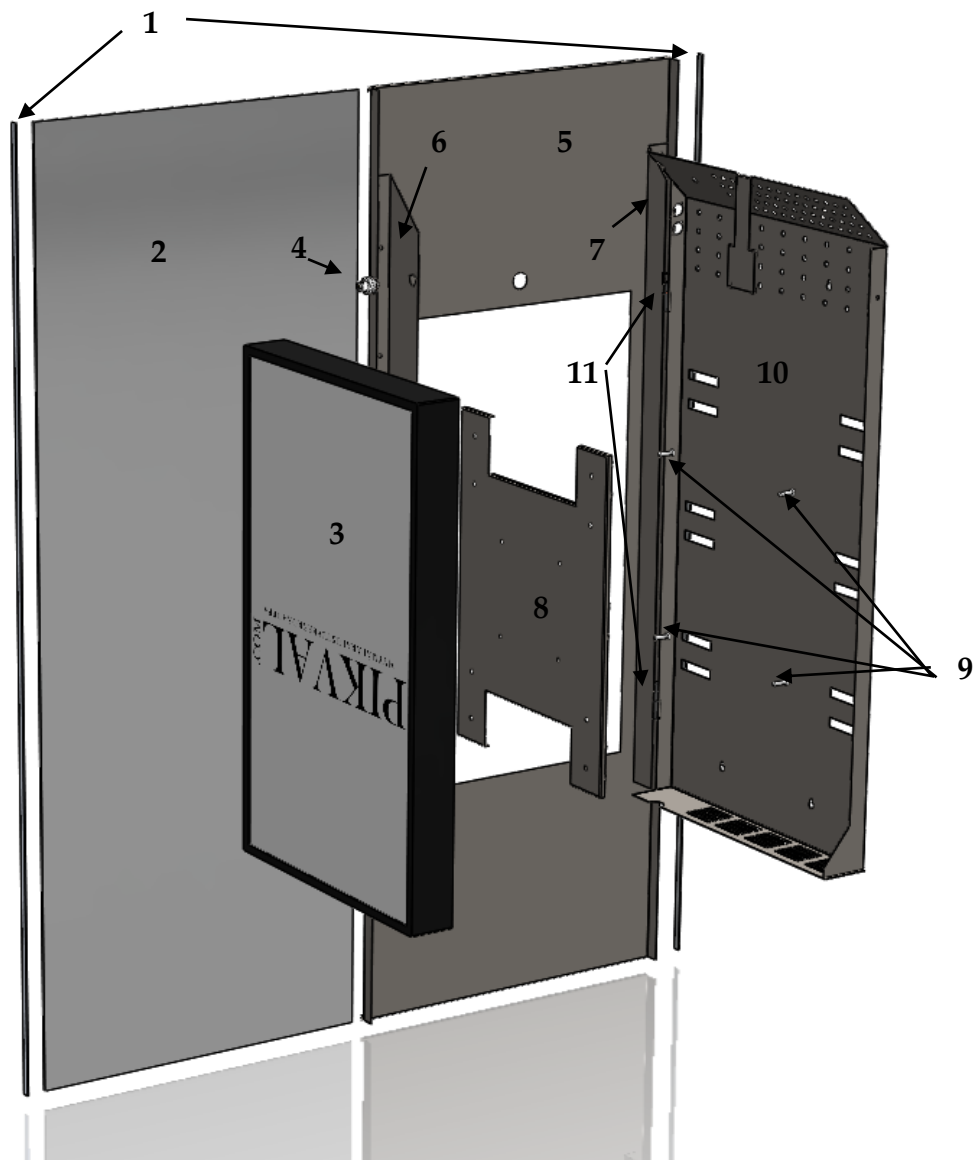
Näytön kiinnitysongelmat ratkaisin suunnittelemalla kokonaan erillisen ohutlevyosan (ks. liitteet 14 ja 15), jonka tarkoituksena on kiinnittää näyttö tiukasti paikoilleen, jotta se ei jäisi roikkumaan irti etuosasta. Kiinnitysosan suunnittelussa pyrin ottaa huomioon myös muut näytöt ja sen, että näyttöä voisi kiinnitysosan avulla liikuttaa horisontaalisesti oikeaan kohtaan.

Tein takarungosta (ks. liitteet 6 ja 7) eli ensimmäisen prototyypin kotelosta monipuolisemman, sen tehtävänä ei olisi ainoastaan suojata ohjelmistokomponentteja ja kiinnittää näyttöä. Näiden ominaisuuksien lisäksi tuotteen kiinnittäminen seinään päätettiin toteuttaa takarungon kautta, minkä seurauksena luovuin ensimmäisen prototyypin teräsputkista. Otin myös huomioon myymälävarkaiden mahdollisen hintalappujen piilottamisen peilin rakenteisiin takarungon suunnittelussa.

Kuvioissa 14 ja 15 on esitetty valmis 3D-malli toisesta prototyypistä edestä, takaa ja räjäytyskuvana ilman ohjelmistokomponentteja. Taulukossa 6 on esitetty toisen prototyypin osaluettelo. Käyn tarkemmin läpi suunnittelemini ohutlevyosien tuotekehitystä.



Kuvio 14. Toinen prototyyppi edestä ja takaa



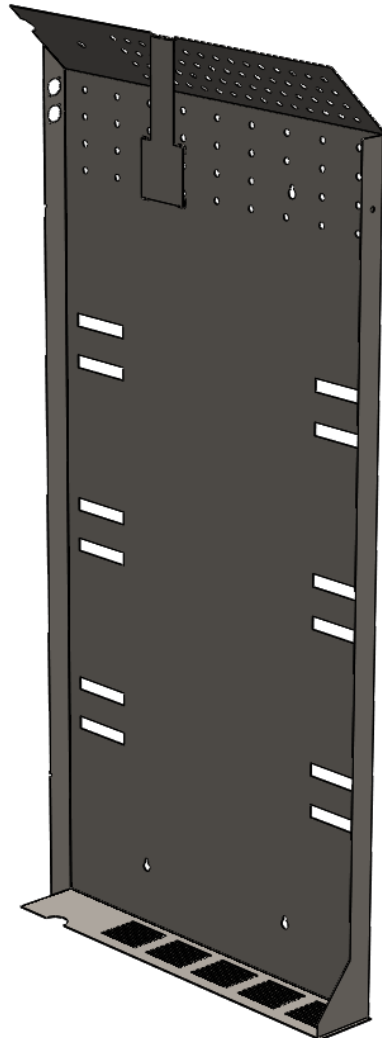
Kuvio 15. Toisen prototyypin räjäytyskuva. Kuvan numerot liittyvät taulukkoon 6. Näytön kuva (PIKVAL) on väärinpäin.

Taulukko 6. Toisen prototyypin osaluettelo

Osan nimike	Kappalemäärä	Kuvio 15:n numero
Sivulista (alumiini)	2	1
Peili 750 x 2000 x 6 mm	1	2
Samsung EDC46	1	3
Lukko ABLOY	1	4
Etuosa	1	5
Vasen siipi	1	6
Oikea siipi	1	7
Näytön kiinnitysosa	1	8
Kuusiokoloruuvi M8 x 30	4	9
Takarunko	1	10
Hitsattava sarana 80 mm	2	11

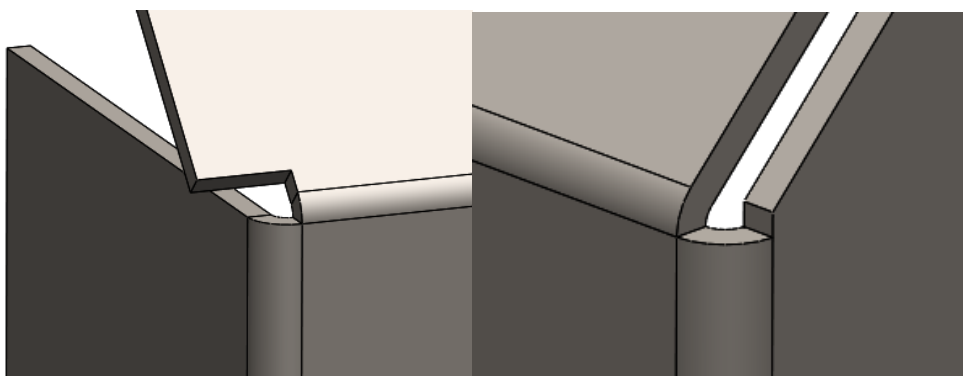
4.3 Takarungon kehitys

Suunnittelin takarungon (ks. kuvio 16) 1,50 mm vahvasta rakenneteräsohutte-
vystä, koska koin sen olevan tarpeeksi kestävä rakenteen kannalta. Takarun-
koon kiinnitetään kaikki ohjelmistokomponentit sekä näyttö, jotta eturungon
saa tarvittaessa pois paikoiltaan ilman ylimääräistä johtojen purkamista. Liit-
teessä 6 on esitetty takarungon levityskuva taivutuslinjoinen.



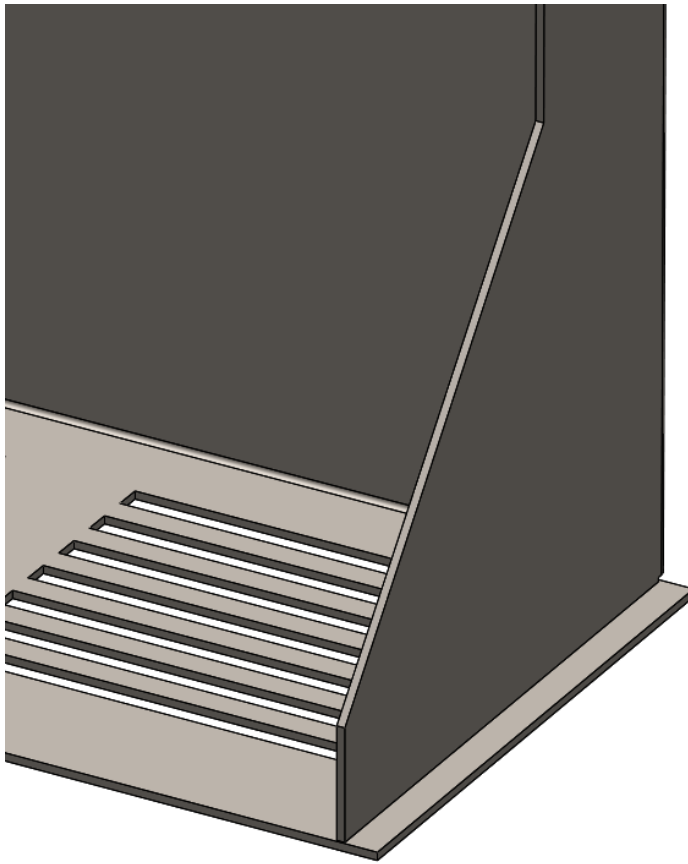
Kuvio 16. Takarunko

Takarungon ylätahko taivutetaan 135° kulmaan, jotta peilin taakse ei pystyisi piilottamaan hintalappuja. Samalla rakenteeseen saatiin enemmän tilaa ohjelmistokomponenteille. Koska molemmat sivutahkot taivutetaan, suunnittelin nurkkiin pienet loveukset taivuttamisen helpottamiseksi (ks. kuvio 17). Oikean puoleisen sivutahkon yläreuna leikataan samansuuntaisesti ylätahkon kanssa, mutta vasemman puoleinen sivutahko jätetään suorakulmaiseksi. Ylätahkon vasenta reunaa on hieman pidennetty sivutahkon päälle, minkä seurauksena vasemman siiven ja vasemman sivutahkon välistä rakoa ei pysty näkemään tuotteen ollessa suljettuna.



Kuvio 17. Takarungon ylätahkon nurkkien loveukset

Alatahko taivutetaan 90° kulmaan jolloin sen uloin reuna on vasten eturunkoa sulkemistilanteessa. Suunnittelin alatahkon vasemman reunan hieman pidemmäksi niin, että se ulottuisi vasemman puoleisen sivutahkon yli. Näin eturungon siivelle saadaan laskupaikka (ks. kuvio 18). Laskupaikan ansioista saranat eivät joudu koko ajan kannattelemaan eturunkoa ja peiliä.

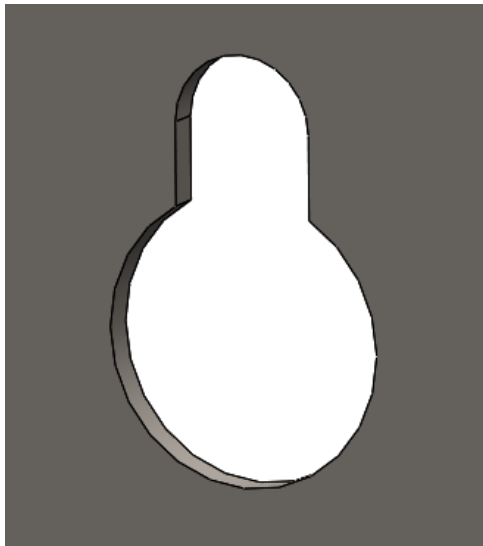


Kuvio 18. Alatahkon vasemman reunan pidennys

Vasemman sivutahkon sekä alatahkon yhtymäkohtaan sisäpuolelle hitsataan kiinnitysliitos vahvistamaan rakennetta. Mitoitin hitsin kestävyys ja se on esitetty liitteessä 4. Sivutahkot taivutetaan 90° kulmaan niin, etteivät tahkojen reiät ole liian lähellä taivutuslinjoja. Vasemman puoleinen tahko taivutetaan koko matkalta, jonka seurauksena rakenteesta saadaan vahvempi.

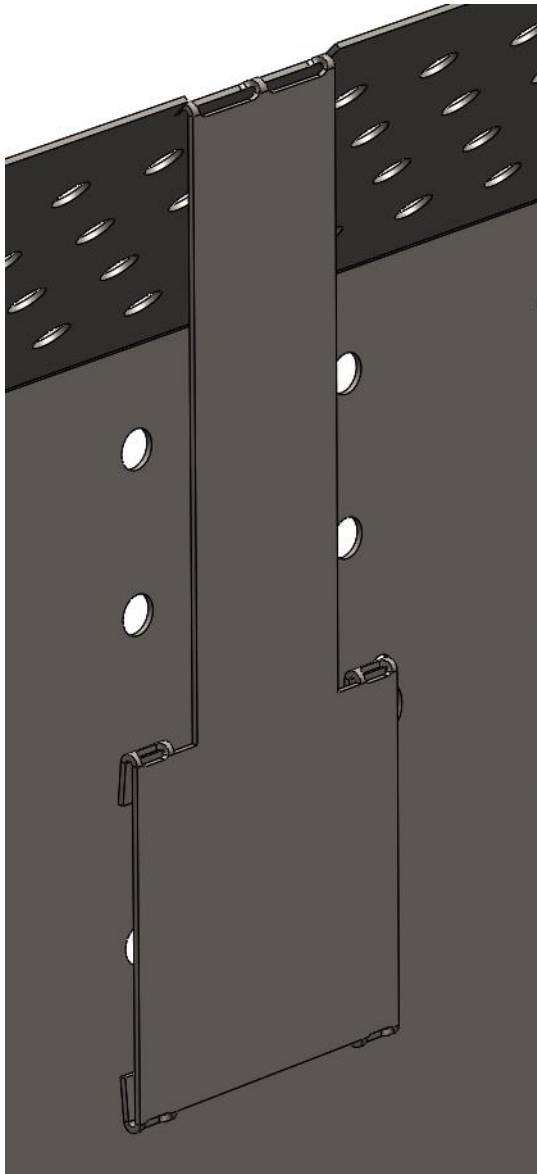
Myymäläkalusteen kiinnittäminen seinään toteutetaan suunnittelemini keyhole-reikien avulla (ks. kuvio 19). Kiinnitysseinään ja takarungon reikiin porataan sopivat ruuvit oikealle kohdalle seinää, jonka jälkeen takarunko voi-

daan nostaa kaikkine ohjelmistoinen ja näyttöineen paikalleen. Ruuvit menevät keyhole-reiän suuremmasta päästä läpi ja alas laskettaessa ne asettuvat pienemmän reiän väliin aiheuttaen sen, ettei rakenne pääse enää heilumaan tai putoamaan paikoiltaan. Ruuveja kiinnittäessä on jätettävä tilaa ruuvin kannan ja seinän väliin, jotta kiinnitys onnistuisi. Suunnittelin keyhole-reikiä takarunkoon yhteensä neljä, kaksi ylös ja kaksi alas, jonka seurauksena takarunkoa ei voida liikuttaa mihinkään muuhun suuntaan kuin suoraan ylöspäin.



Kuvio 19. Keyhole-kiinnitysreikä

Yksi ohjelmistokokoonpano vaati tarkkaan määritetyn ja tukevan kiinnitysratkaisun. Sitä varten suunnittelin takarunkoon pitkän pidikkeen. Pidikkeen taivutukset saadaan taivutettua käsin vasta kokoonpanovaiheessa, minkä takia ne on mahdollista toteuttaa. Taivuttamisen mahdollistamiseksi taivutuslinjojen väliin suunniteltiin aukot, jotka leikataan laserilla. (ks. kuvio 20.)

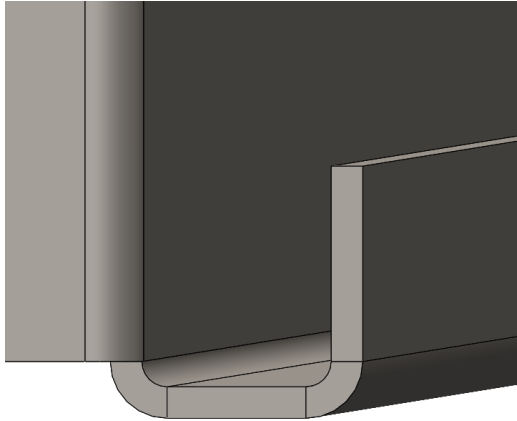


Kuvio 20. Pidike ohjelmistokokoonpanolle

4.4 Eturungon suunnittelu

Eturunko muodostetaan etuosasta ja siivistä. En juurikaan muuttanut etuosan muotoa ensimmäisestä prototyypistä. Muutin ainoastaan keskellä olevan aukon mittoja toiseen prototyyppiin tulevan näytön mukaisesti. Etuosan ylä- ja alareunoissa on pienet taivutukset, joihin 6 mm:n paksuinen peili saadaan

liu'utettua sivukautta (ks. kuvio 22). Taivutuksissa on huomioitu minimilaippakorkeus, 8 mm.



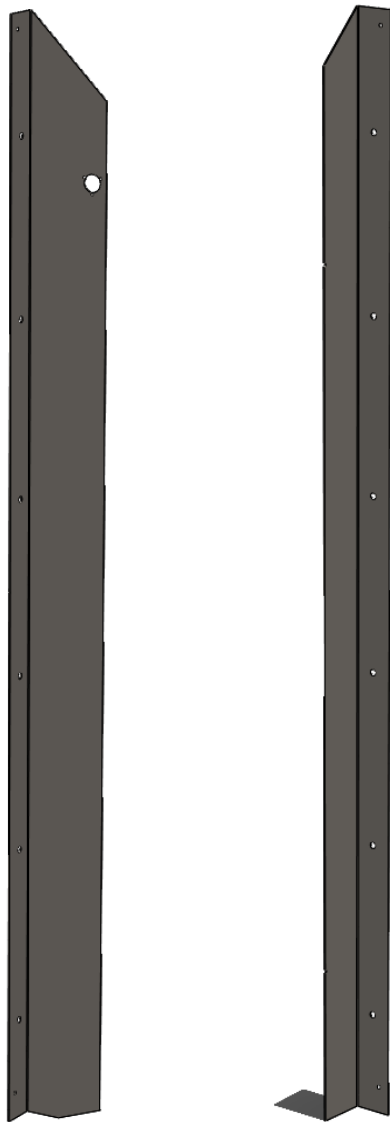
Kuvio 21. Peilin alapidikkeen taivutus etuosassa

Etuosan ja siipien liittämistä yhteen helpotetaan tekemällä levytyökeskuksella etuosaan kohdistusnastat ja siipiin kohdistusreiät (ks. kuvio 22). Niiden avulla osat saadaan varmasti oikeaan asennuskohtaan hitsaustilanteessa. Siipiin suunnittelin hitsausreikiä, joiden reunoihin tehdään tarvittavat hitsaukset MAG-laitteistolla (ks. liite 7). Hitsauksen pitävyyttä ei tarvinnut erikseen laskea, koska samaa menetelmää käytettiin ensimmäisessä prototyypissä.



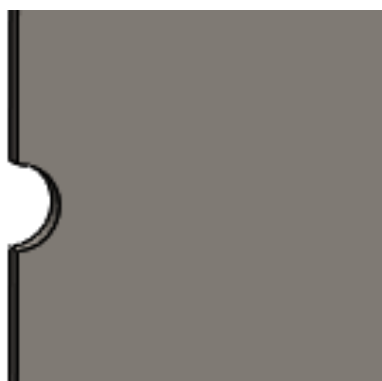
Kuvio 22. Eturungon kohdistusnasta ja -reikä, vasen siipi on kuviossa läpinäkyvä.

Siipien muoto eroaa paljon toisistaan verrattuna ensimmäiseen prototyyppiin, jossa ne olivat identtiset (ks. kuvio 23). Vasemman puoleinen siipi on pidempi, koska sen täytyy mennä takarungon sivulle niin, että lukko saadaan kiinni. Lukkoa varten minun täytyi mallintaa siipeen kiinnitysreiät. Siiven alareunaan leikataan viisto muoto, minkä seurauksena sen nostaminen takarungon alatahkon päälle olisi helpompaa. Suunnitelin tämän muodon sen takia, koska voidaan olettaa eturungon peileineen taipuvan hieman alaspäin painon vaikutuksesta rakenteen ollessa avattuna.



Kuvio 23. Vasen ja oikea siipi

Oikean puoleisessa siivessä on saranoiden hitsausta helpottavat kohdistusaukot, jota vasten takarungon oikealla sivutahkolla olevat vastaavanlaiset kohdistusaukot asetetaan (ks. kuvio 24). Kohdistuskuvioden ansiosta hitsattavat saranat saadaan oikeille paikoille tai ainakin helpotetaan niiden paikoitusta.

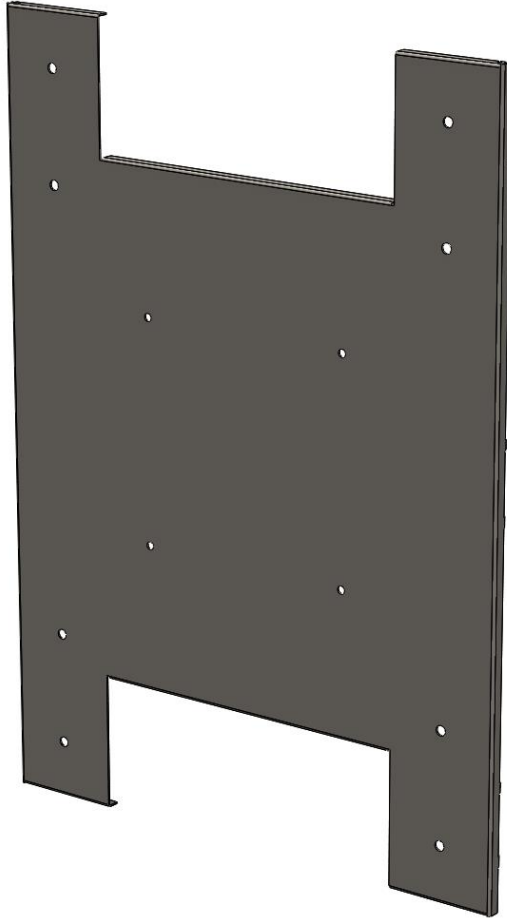


Kuvio 24. Kohdistusaukko oikeassa siivessä

4.5 Näytön kiinnitysosien suunnittelu

Tein näytön kiinnitysosasta (ks. kuvio 25) rakenteeltaan sellaisen, että sitä voitaisiin käyttää myös muissa Digital Signage -tuotteissa. Tuote valmistetaan 1,50 mm vahvasta DC01-teräsohutlevyarkista. Osa sisältää VESA-standardin mitoista DS-näytöissä yleisimmin käytetyt eli 200 x 200, 400 x 400 ja 600 x 400 -mitat. Mitat saavat nimensä reikien etäisyydestä toisiinsa ja ne ovat aina sijoitettu näytön ollessa normaalissa suunnassa eli vaakatasossa tuotteen keskipisteen ympärille. Esimerkiksi toisessa prototyypissä Samsungin näytön kiinnitysreiät perustuivat VESA 600 x 400 -standardiin ja kiinnitys tapahtui M8-ruuveilla. Kiinnitysreiät näytön kiinnitysosassa ovat isommilla VESA-mitoilla sen

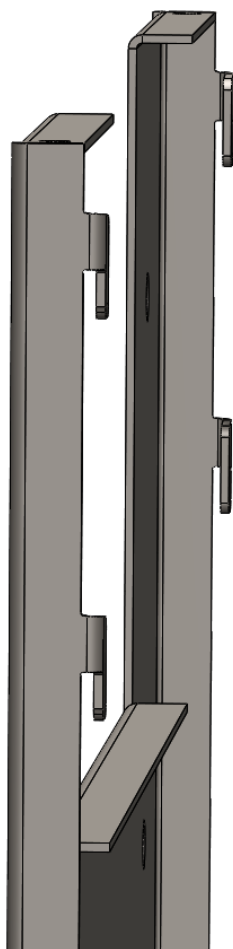
takia suuremmat, että tarpeen vaatiessa kiinnittäminen onnistuu myös M8-ruuveilla.



Kuvio 25. Näytön kiinnitysosa

Kiinnitysosan rakenteen vahvistamiseksi sen reunoja taivutetaan. Samalla saadaan tilaa myös näytön kiinnitysruuveille sekä johdoille, joita lähtee näytön kytkentäpaikoista. Kiinnitysosan keskelle molemmille puolille suunnittelin suuret aukot, jotta näytön takaa kriittiset kohdat, kuten esimerkiksi virtajohdon pistokepaikka, eivät peity.

Kuviosta 23 nähdään, millä menetelmällä näytön kiinnitysosa kiinnitetään takarunkoon. Suunnittelin kiinnitysosaan molemmille puolille kolme sisälle päin taivutettua koukkuparia (yhteensä 12 koukkua). Reunalaipan ja koukkujen sisäpinnan väliin jätetään taivutuksen yhteydessä tilaa noin 2 mm, jolloin takarungon takapinnan levy mahtuu koukkujen ja kiinnitysosan laipan väliin. Takarunkoon lävistetään suorakulmion muotoiset aukot, josta koukut saadaan läpi. Tämän jälkeen kiinnitysosa lasketaan koukkujen ja takarungon vaaraan, jolloin näyttö jää paikoilleen. Tällainen ratkaisu mahdollistaa näytön siirtämisen horisontaalisuunnassa vaivattomasti niin, että samalla voidaan tarkastella sen kohdistumista eturungossa olevaa aukkoa vasten.



Kuvio 26. Kiinnitysosan koukkuparit

4.6 Yksityiskohtainen suunnittelu

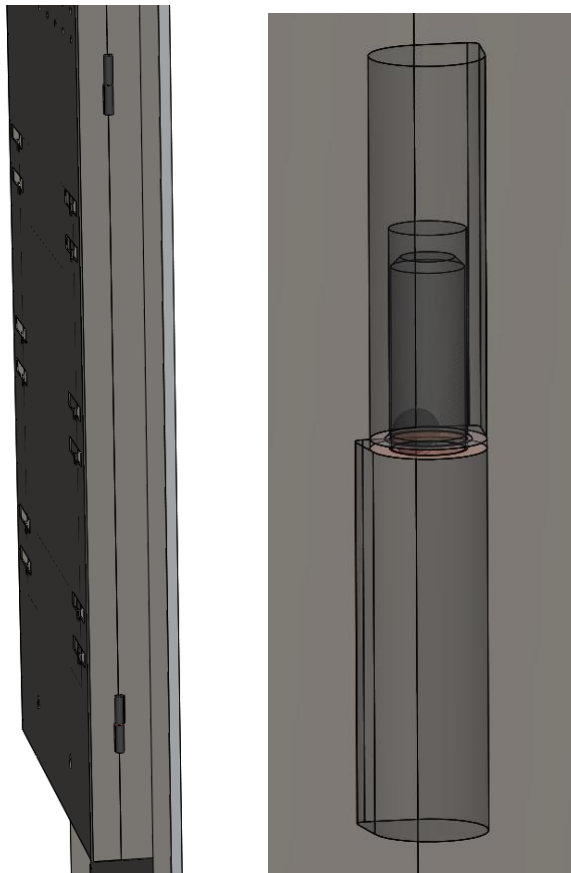
Pikvalilla ei ole yleisesti käytössä tuotteissaan hitsattavia saranoita, joten opin-
näytetyötä varten sellaiset varta vasten hankittiin (ks. kuvio 27). Saranoita on
yhteensä kaksi kappaletta ja ne irtoavat toisistaan nostamalla, toisin kuin yri-
tykseltä löytyvät muut muttereilla kiinnitettävät lehtisaranat. Yhteismitta yh-
delle saranalle on 80 mm, joista molemmat puolet ovat yhteensä 40 mm pitkiä.
Välissä on kuparista valmistettu liukulaakeri.



Kuvio 27. Hitsattava sarana 80 mm (Sarana hitsattava pari 80mm y n.d.)

Saranan alaosa hitsataan takarungon oikean puoleiselle tahkolle ja yläosa hit-
sataan eturungon oikean puoleiseen siipeen. Hitsattaessa on tärkeää, että sara-
nat saadaan juuri oikealle kohdalle, koska muuten näyttö ei kohdistu eturun-
koon oikein. Hitsaus suoritetaan niin, että takarunko ja eturunko hitsataan
yhtä aikaa saranoiden molempien puolien ollessa kiinni toisissaan. Näin voi-
daan välttyä paikoitusvirheiltä, vaikkakin hitsausasento on hankala. Hitsin
kestävyys on esitetty liitteessä 5.

Hitsausta helpotetaan jo edellä mainituilla kohdistusaukoilla taka- ja eturungossa muodostaen yhteen liitetynä reiän. Saranat asetetaan kohdistusaukkojen keskikohtaan, jonka jälkeen ne hitsataan kiinni. Näin kohdistusaukko jää saranan peittoon. (Ks. kuvio 28.)



Kuvio 28. Hitsattavien saranoiden kiinnityskohdat

Jos osa ei sisältänyt maalaamoon sopivaa reikää, suunnittelin sellaisen kyseiseen osaan. Esimerkiksi näytön kiinnitysosien ylälaipassa on molemmilla puolilla reiät, josta ne voidaan ripustaa maalauslinjalla oleviin koukkuihin. Kaikki ohutlevyosat maalataan RAL 9005-värillä, koska tuotteen toimivuuden kan-

nalta oli tärkeää, että väritys on mahdollisimman musta. Myyntikuvat valmiista tuotteesta avattuna ja suljettuna on esitetty kuviossa 29 ja 30. Kuviosta 29 ei voi nähdä rakenteen sisällä olevaa DS-näyttöä ja kuviosta 30 on poistettu laitteen toimivuuden kannalta olennaiset ohjelmistokomponentit.



Kuvio 29. Toisen prototyypin suljettu myyntikuva



Kuvio 30. Toisen prototyypin avattu myyntikuva

5 Tuotteen heuristinen arviointi

Heuristisen arvioinnin tekee tavallisesti 3-5 arvioijaa, mutta tässä tapauksessa sen tein vain minä ja 3D-mallin pohjalta, koska tuote ei ehtinyt valmistua ennen raportin palautuspäivää. Tästä johtuen valmistuksessa ilmeneviä ongelmia ja käytettävyysvirheitä loppukäyttäjällä voin vain olettaa tapahtuvan. Arvioinnissa pyrin siihen, että tarkastelisin tuotetta erilaisten käyttäjäryhmien näkökulmasta.

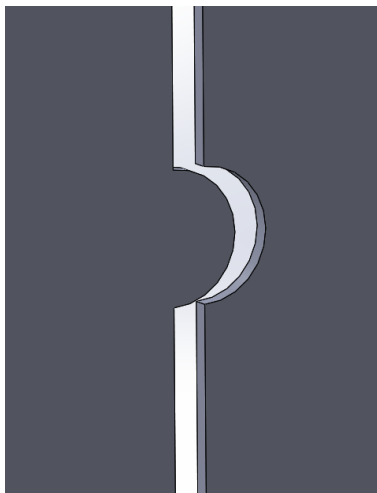
Sovelsin Nielsenin 10-kohdan muistilistan kohtia tekstimuodoltaan vastaamaan paremmin fyysisen ja mekaanisen tuotteen käyttöliittymän arviointia. Arviointiasteikkona käytin liikennevalomenetelmää. Kävin jokaisen muistilistan kohdan erikseen läpi ja annoin niille arvosanan punaisesta vihreään.

Taulukkoon 7 ja 8 on lueteltu 10-kohdan muistilistan oikeat nimikkeet, niiden sovelletut nimikkeet sekä perustelut sille, minkä mukaan arvosana on saanut värinsä. Nimikkeiden eteen on merkattu arvosanan väri. Taulukossa 7 tuotetta on tarkasteltu valmistus- ja kokoonpanovaiheessa ja taulukossa 8 valmiina tuotteena myymälässä. Taulukoiden alle on lisäksi avattu, miksi joku kohdista on saanut keltaisen tai punaisen värin.

Taulukko 7. Heuristinen arviointi valmistuksen näkökulmasta

A S	Oikea nimike	Sovellettu nimike	Perustelut
	Laitteen tila	Valmistusvaiheet	<ul style="list-style-type: none"> - Valmistus- ja asennusvaiheen piirustukset selkeitä ja opastavia - Taivuttaessa joudutaan tekemään useita asetuksia särmäyspuristimeen
	Todellisuuteen vastaaminen	Tuotteen valmistettavuus	<ul style="list-style-type: none"> - Nurkan loveukset jääneet osittain pois - Saranoiden kohdistusaukkojen huono sijainti ja suunnittelu - Taivutukset voidaan suorittaa käyttämällä särmäyspuristinta
	Käyttäjän kontrolli ja vapaus		<ul style="list-style-type: none"> - Piirustuksiin on merkitty halutut mitat ja tarvittavat merkinnät - Tuotannon toiminta on kontrolloitua
	Jatkuvuus ja standardit	Standardit	<ul style="list-style-type: none"> - Tuotteessa käytetään ISO-standardin mukaisia ruuveja - VESA-standardin mukainen näytön kiinnitys - Ohutlevyn suunnitteluperiaatteita on noudatettu - Teräsmateriaali täyttää standardin EN 10130 -vaatimukset
	Virheen estäminen	Asennus- ja valmistusvirheiden estäminen	<ul style="list-style-type: none"> - Mahdollisia asennusvirheitä ei voi kokonaan välttää - Saranahitsien kohdistusapujen väärä muotoilu lisää riskiä - Osalle ohjelmistokomponenteista selvä paikka puuttuu
	Tunnistaminen vs. muistaminen		<ul style="list-style-type: none"> - Näytön saa oikein päin vain muistamalla, mutta se on helppo testata - Kohdistusnastat ja -aukot helpottavat asennusta
	Joustavuus ja tehokas käyttö	Modulaarisuus	<ul style="list-style-type: none"> - Tuote ei loppujen lopuksi täytä modulaarisuuden vaatimuksia, koska lähes kaikkien muiden osien, paitsi näytön kiinnitysosan mittoja joudutaan muuttamaan - Tuotteen onnistuminen on riippuvainen näytön paksuuden huomioimisesta suunnittelussa
	Esteettinen ja minimalistinen ulkonäkö		<ul style="list-style-type: none"> - Materiaalia on säästetty - Ohutlevyosat ovat valmistettu vain kahdesta erivahvuisesta teräsohutlevyarkista
	Auttaa käyttäjää tunnistamaan, arvioimaan ja toipumaan virheistä	Virheiden mahdollisuus ja niiden toleranssit	<ul style="list-style-type: none"> - Rakenne ei salli paljon asennusvirheitä, toleranssit on pyritty ottaa huomioon - Näyttöä voidaan liikuttaa horisontaalisuunnassa oikealle ja vasemmalle - Asennusvirheet huomataan vasta kokoonpanovaiheessa - Takarungon erillisen pidikkeen liian pitkä/lyhyt pituus
	Apu ja dokumentaatio	Ohjeet ja dokumentit	<ul style="list-style-type: none"> - Valmistuksen tekniset piirustukset ovat selkeitä ja helposti luettavissa - Kokoonpanovaiheeseen oma piirustus valmiina (ei sisälly raporttiin)

Valmistusvaiheen heuristisessa arvioinnissa kävi ilmi, että jos tuotteen valmistuksessa syntyy asennusvirheitä, aiheuttavat ne myös käytettävyyssvirheitä ja pahimmassa tapauksessa tuotteen toimimattomuuden. Suurimpana yksittäisenä virheenä voidaan pitää saranapuolen kohdistusaukkoja, joiden muotoilu on väärä ja se tulisi mitä pikimmiten suunnitella uudestaan. Esimerkiksi takarunkoon voisi suunnitella puolipallomaisen muodon ja oikeaan siivekkeeseen sitä vastaavan aukon (ks. kuvio 31). Näitä paikoitusmuotoja voisi olla useampiakin, koska ne eivät häiritse tuotteen avautumista ja sulkemista.



Kuvio 31. Vaihtoehtoinen paikoitusmuoto

Lisäksi mahdolliset mittavirheet pystysuunnassa vaikuttavat armotta siihen, ettei näyttö ole enää täysin keskellä eturungon aukkoa. Yritin keksiä tähän ongelmaan ratkaisua siinä kuitenkaan onnistumatta. Yhtenä vaihtoehtona voitaisiin pitää näytön kiinnitysosan VESA-reikien hieman soikeaa muotoa, jolloin näyttöä voisi tarvittaessa hieman ruuvata ylös- tai alaspäin.

Joillekin ohjelmistokomponenteille on selvä paikka, mutta kaikkia komponentteja en pystynyt ottamaan paikoituksessa huomioon. Nippusiteiden avulla komponentit saadaan tukevasti kiinni rakenteeseen. Suunnittelin prototyypin niille ohjelmistokomponenteille, joita sillä hetkellä oli Pikvalilla käytössä, mutta nekin saattavat tilanteen mukaan vaihtua. Vaihtuvuuden hallitsemiseksi 3D-malliin voitaisiin jo valmiiksi määritellä erilaisia konfiguraatioita, joita tarjota asiakkaalle. Esimerkiksi takarungon pitkän käsin taitettavan pidikkeen voisi ottaa jossain konfiguraatioissa pois, koska se liittyy vahvasti rakenteen sisälle laitettavaan ohjelmistoon.

Valmistuksen ja kokoonpanon heuristisessa arvioinnissa modulaarisuus osoitautui tuotteen kompastuskiveksi. Pyrin suunnittelemaan tuotteesta mahdollisimman modulaarisen, mutta loppujen lopuksi suuri osa mitoista on sidoksissa näytön mittoihin. Tuotteesta saataisiin modulaarisempi ja monikäyttöisempi, jos näytön takapuolen ja takarungon välistä tilaa voitaisiin kontrolloida. Näin näyttö saataisiin aina tukevasti kiinni eturunkoon. Yhtenä vaihtoehtona kiinnitykselle ja tarkalle mitoitukselle esitin näytön kiinnittämistä kiinnitysosan kautta takarungon sivuosiin ruuveilla ja kierreniiteillä. Siitä jouduttiin kuitenkin luopumaan rakenteen heikentymisen ja turhan pienen säätömahdollisuuden takia.

Taulukko 8. Heuristinen arviointi myymäläympäristössä

A S	Oikea ni- mike	Sovellettu nimike	Perustelut
	Laitteen tila	Tuotteen tila	<ul style="list-style-type: none"> - Huomaa selvästi onko rakenne lukossa vai auki - Ei saa auki ilman avainta
	Todellisuuteen vastaa- minen	Tuotteen sopiminen myymälään	<ul style="list-style-type: none"> - Nostaminen paikoilleen vaatii voimaa - Lukko- ja saranamekanismi kaikille tuttu - Peili toimii halutulla tavalla, mutta voi herättää negatiivisia tuntemuksia joissain asiakkaissa - Kiinnitysseinän on oltava tarpeeksi vahvaa materiaalia
	Käyttäjän kontrolli ja va- paus		<ul style="list-style-type: none"> - Ulkopuolinen ei pääse tarkastelemaan tuotteen sisältöä sen ollessa suljettuna - Helppo pitää puhtaana myös lattiatasosta, koska tuote ei ole kiinni maassa - Tuotetta voidaan käyttää moniin eri tarkoituksiin erilaisissa myymäläympäristöissä
	Jatkuvuus ja standardit		<ul style="list-style-type: none"> - Standardin SFS-EN 1005-2 mukainen viitemassa 25 kg ylittyy, mutta nostotapauksen riskiä voidaan pitää siedettävänä ($R_t < 0,85$), koska riskin suuruus $[R_t] = \text{todellinen massa (37 kg) / viite-massa (25 kg)} = 0,71$
	Virheen es- tämisen	Käytettä- vyysvirhei- den estämi- nen	<ul style="list-style-type: none"> - Osalle ohjelmistokomponenteista selvä paikka edelleen puuttuu - Loppuasiakkaalle ei ole suunniteltu erillistä käyttö- tai huolto-ohjetta
	Tunnistaminen vs. muista- minen		<ul style="list-style-type: none"> - Tuotteen avausmekanismi on tuttu eikä vaadi erityisponnisteluja - Rakenne on yksinkertainen
	Joustavuus ja tehokas käyttö	Modulaari- suus	<ul style="list-style-type: none"> - Rakenteeseen ei saatavilla lisäosia tai muita vaihtoehtoja - Loppukäyttäjä voi yhdistää tuotteen osaksi muita Digital Signage -tuotteita
	Esteettinen ja minimalistinen ulkonäkö		<ul style="list-style-type: none"> - Ohut rakenne ei herätä huomiota tai vie tilaa myymäläympäristössä - Suunniteltu niin, ettei hintalappuja saa rakenteeseen piiloon - Mitä suurempi peili, sitä vaikuttavamman näköinen tuote on - Tuo lisäarvoa myymäläilmeeseen
	Auttaa käyttäjää tunnistamaan, arvioimaan ja toipumaan virheistä		<ul style="list-style-type: none"> - Rakenne ei tunnista virheitä tai kerro niiden syitä - Käyttöohjeita ei vielä suunniteltu - Pikval Oy:n tekninen tuki puhelinsoiton päässä
	Apu ja do- kumentaa- tio	Ohjeet ja dokumentit	<ul style="list-style-type: none"> - Loppukäyttäjälle ei vielä käyttöohjeita valmiina - Tarvittaessa Pikvalin tekninen tuki auttaa

Tuotteen sopiminen myymälään riippuu myymälän sallimista tiloista, myymäläilmeestä sekä ympäröivien seinien materiaalista ja vahvuudesta. Tuote vaatii kiinnittämiseen vahvan seinän ja paljon tilaa, siten sitä voidaan käyttää halutulla tavalla. Ensimmäisten prototyypin kiinnitysseinät olivat molemmissa tapauksissa puuta. Puuhun porattiin kahden ruuvien avulla kaksi koukua rinnakkain, jonka varaan peilit nostettiin. Toisessa prototyypissä kiinnitys seinään suoritetaan keyhole-rei'illä, eikä siitä ole tehty tarkempia laskelmia, minkälainen materiaali kestää tuotteen painon. Myös seinään kiinnitettävien ruuvien paikoitukseen ei ole saatavilla ohjeita, mutta teknisen piirustuksen avulla saadaan luotua asennusohjeet tähänkin tarpeeseen.

Suurimmat käytettävyydevirheet loppuasiakkailla (myymälän työntekijä ja/tai asiakas) aiheutuvat siitä, ettei tarvittavia käyttöohjeita ole vielä tehty. Jos jostain syystä Pikvalin asiakas eli myymälän työntekijä haluaa huoltaa tai tutkia itsenäisesti tuotetta, täytyy hänen ensin ottaa yhteyttä Pikvaliin saadakseen lisää tietoa laitteesta. Ohjelmistoa muuttaessa on mahdollista, että loppukäyttäjä ottaa komponentit irti eikä muista enää, missä paikassa komponentit olivat ennen irrottamista.

Modulaarisuus on enemmän yrityksen kuin asiakkaan ongelma, mutta olisi hyvä, että asiakkaalla olisi mahdollisuus valita omaan käyttöönsä sopiva malli. Jotkut myymälät saattavat olla esimerkiksi tiloiltaan niin pieniä, ettei suuri peili sovi ympäristöön ja ostopäätös jää siten tekemättä.

Kokonaisuutena heuristinen arviointi antoi hyvät lähtökohdat tuotteen jatkokehitykseen. Arviointia ei voida kuitenkaan pitää kovin kattavana, koska vain

minä suoritin arvioinnin, vaikkakin pyrin arvioinnissa ottamaan huomioon erilaiset käyttäjäryhmät ja tuntemus tuotteesta oli erinomainen.

6 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella mahdollisimman käyttäjäystävällinen Digital Signage -myymäläkaluste Pikval Oy:n toimesta. Tuote piti sisälleen Digital Signage -näytön lisäksi tarvittavat ohjelmistokomponentit sekä erikoispeilin, joka päästää valoa läpi silloin, kun valaistus ja kirkkaus ovat oikeat. Suunnittelin erikoispeilille tukevan mekaanisen rakenteen teräsohuttelevyistä, jonka sisälle voisi asentaa tarvittavat komponentit. Suunnittelussa täytyi ottaa huomioon erilaisia vaatimuksia, kuten esimerkiksi peilin ja näytön koko, yrityksen tuotantotilojen laitteisto sekä materiaalit ja yrityksen toiveet tuotteen modulaarisuudesta ja hienosta ulkonäöstä.

Suunnittelin tuotteen ensimmäisen ja opinnäytetyössä tarkasteltavan toisen prototyypin työharjoitteluni aikana Pikvalilla kesällä 2015. Ohjelmana SolidWorks oli minulle melko vieras, mutta nopeasti ensimmäistä prototyyppiä mallintaessa opin hallitsemaan ohjelman perustoiminnot. Samaan aikaan opin myös muita yritykselle ominaisia suunnittelutapoja ja -periaatteita.

Toista prototyyppiä aloittaessani ohjelmiston toiminnot olivat minulle jo tuttuja, eikä niitä tarvinnut erikseen opetella. Alussa oli vaikea päättää, suunnittelisin ko toisen prototyypin kokonaan uudestaan vai käyttäisinkö ensimmäisen prototyypin pohjaa, jota vain hieman muutettaisiin käytettävyydeltään

paremmaksi. Päädyin valitsemaan ensimmäisen vaihtoehdon eli suunnittelemaan kokonaan uuden rakenteen, koska liittämismenetelmät ja saranoiden käyttö muuttivat rakennetta niin paljon. Toisen prototyypin 3D-malli tarvittavine piirustuksineen valmistui syyskuun alussa vuonna 2015. Työharjoitteluni ohjaaja auttoi minua tarpeen tullen tuotteen suunnittelussa ja päätöksenteossa.

Heuristinen arviointi vahvisti omia ajatuksiani siitä, että tuotteessa on selvästi jatkokehitettävää. Muutokset eivät kuitenkaan ole mittavia ja ne on helppo toteuttaa. Esimerkiksi kohdistusaukkojen ja näytön kiinnitysosan VESA-reikien muotojen muuttamisella tuotteesta saataisiin helpommin valmistettava ja asennettava kokonaisuus. Myös mahdolliset toleranssivirheet olisivat silloin helpommin hallittavissa.

Pelkästä 3D-mallista on vaikea määritellä, kuinka luotettava tuote loppujen lopuksi on. Ohutlevyn taipumista tai hitsattavien saranoiden lujuutta ei ole mitattu millään tavalla ja niin ne selviävätkin vasta testausvaiheessa. Opinnäytetyössä oletettiin niiden olevan tarpeeksi kestäviä. Tuotteen käytettävyyteen ja luotettavuuteen liittyy myös olennaisesti ohjelmiston sisältö ja sen toimivuus, jota tässä opinnäytetyössä ei tarkasteltu. Tuotteen mekaaninen rakenne on käytännössä vain ”raamit” isomman kokonaisuuden ympärillä, joten kokonaisvaltaisen käytettävyyden arviointiin täytyisi yhdistää myös muu sisältö.

Vartenotettavia jatkokehitysideoita tuotteelle ovat pienten suunnittelumuutosten lisäksi Pikvalin asiakkaalle tehtävät käyttö- ja huolto-ohjeet. Ilman niitä on myyjän lähes mahdoton työskennellä tehokkaasti tuotteen kanssa.

Erityisen tyytyväinen olen suunnittelijana käytettävyyden helpottumiseen verrattuna ensimmäiseen prototyyppiin. Toinen prototyyppi ei sisällä yhtäkään ruuviliitosta (lukuun ottamatta pakollisen näytön kiinnittämisen), joten esimerkiksi myyjä ei tarvitse kuin lukkoon sopivan avaimen päästäkseen ohjelmistokomponentteihin käsiksi. Myös nostoon tarvittavan voiman merkittävä aleneminen on positiivinen asia käytettävyyden kannalta. Rakenteesta saatiin ulkoa katsoen yksinkertaisempi, vaikka se saattaakin olla valmistettavuudeltaan haastavampi, koska taivutuksia ja osia on enemmän kuin ensimmäisessä prototyypissä.

Jos tuote olisi saatu valmiiksi ennen opinnäytetyön palauttamista, olisi käytettävyyden arviointi ollut miellyttävämpää ja laadukkaampaa. Tarvittavat käytettävyydestaukset olisi voitu suorittaa oikeilla loppukäyttäjillä eikä heuristista arviointia 3D-mallista olisi tarvittu. Heuristisen arvioinnin avulla saatiin kuitenkin merkittäviä asioita esille, joita tulisi korjata mielellään vielä ennen toisen prototyypin valmistuksen aloittamista.

Lähteet

Aaltonen, K., Andersson, P. & Kauppinen, V. 1997. Levytyö- ja työvälinetekniikat. Porvoo: WSOY.

Airila, M., Karjalainen, J., Mantovaara, U., Nurmi, L., Ranta, A. & Verho, A. 1985a. Koneenosien suunnittelu 1. Porvoo: WSOY.

Airila, M., Karjalainen, J., Mantovaara, U., Nurmi, L., Ranta, A. & Verho, A. 1985b. Koneenosien suunnittelu 2. Porvoo: WSOY.

Caristan, C. 2004. Laser Cutting - Guide for Manufacturing. Sähköinen kirja Google Books Internet-sivustolta. Viitattu 16.10.2015
<https://books.google.fi/books?id=pRah71xUxbMC&pg=PA38&hl=fi#v=onepage&q&f=false>.

Innovatiivista osaamista myyntisi tueksi. N.d. Pikval Oy:n Internet-sivut. Viitattu 2.11.2015 <http://www.pikval.fi/palvelut/>.

Introduction to User-Centered Design. N.d. Internet-artikkeli usabilityfirst-Internet-sivustolta. Viitattu 27.10.2015. <http://www.usabilityfirst.com/about-usability/introduction-to-user-centered-design>.

Kylmävalssattujen teräsohutlevyjen mitta- ja muototoleranssit. N.d. Ruukki Oy:n Internet-julkaisu. Viitattu 6.10.2015. <http://www.ruukki.fi/~media/Finland/Files/Terastuotteet/Kylmavalssatut-mitta-ja-muototoleranssit/Ruukki-kylmavalssattujen-terasten-mitta-ja-muototoleranssit.ashx>.

Matilainen, J., Parviainen, M., Havas, T., Hiitelä, E. & Hultin, S. 2011. Ohutlevytuotteiden suunnittelijan käsikirja. Teknologiateollisuus Ry.

Muovattavat EN 10130 mukaiset teräkset. 2014. Tietosivu kylmävalssatuista teräsohutlevyistä Ruukin Internet-sivuilla. Viitattu 6.10.2015.
<http://www.ruukki.fi/formablesteels>.

Myymälätilojen ammattilainen. N.d. Pikval Oy:n Internet-sivut. Viitattu 2.11.2015. <http://www.pikval.fi/pikval/>.

Nielsen, J. 1995a. 10 Usability Heuristics for User Interface Design. Artikkelin NNGroup-Internet-sivustolta. Viitattu 28.10.2015. <http://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/>.

Nielsen, J. 1995b. How to Conduct Heuristic Evaluation. Artikkelin NNGroup-Internet-sivustolta. Viitattu 28.10.2015. <http://www.nngroup.com/articles/how-to-conduct-a-heuristic-evaluation/>.

Punching. N.d. Artikkelin Advantage Fabricated Metals -yhtiön Internet-sivuilla. Viitattu 14.10.2015. <http://www.advantagefabricatedmetals.com/punching-process.html>.

Saariluoma, P. 2004. Käyttäjäpsykologia - Ihmisen ja koneen vuorovaikutuksen uusi ajattelutapa. Helsinki: WSOY.

Sarana hitsattava pari 80mm y. N.d. Kuva IKH Centerin Internet-sivustolta. Viitattu 4.11.2015. http://www.ikh.fi/Helat_ovitarvikkeet/Hitsattavat_saranat/B9030_SARANA_HITSATTAVA_PARI_80MM__Y.

Sarinko, K. 1999. Asiakaskohtaisesti muunneltavien tuotteiden massaräätälöinti, konfigurointi ja modulointi. Diplomityö. Helsingin teknillinen korkeakoulu, konetekniikan osasto.

SFS-EN 1005-2 + A1. 2009. Koneturvallisuus. Ihmisen fyysinen suorituskyky. Osa 2: koneen ja sen osien manuaalinen käsittely. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Vahvistettu 20.04.2009. Viitattu 29.10.2015. <https://janet.finna.fi>, SFS Online.

SFS-EN 1993-1-8. 2005. Eurocode 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-8: liitosten mitoitus. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Vahvistettu 15.08.2005. Viitattu 5.11.2015. <https://janet.finna.fi>, SFS Online.

Siistonen, M. 2015. Teollisuustekniikan lehtori. Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Luento käytettävyys ja ergonomia -opintojaksolla keväällä 2015.

Solitan tutkimus: Kaupan trendit ja tulevaisuus 2015. Digitaalisen liiketoiminnan asiantuntijayrityksen Solitan uutinen vähittäiskaupan tulevaisuudesta. Viitattu 30.9.2015. <http://www.solita.fi/ajankohtaista/solitan-tutkimus-kaupan-trendit-ja-tulevaisuus-2015/>.

Sinkkonen, I., Kuoppala, H., Parkkinen, J. & Vastamäki, R. 2006. Käytettävyyden psykologia. 3., uud. p. Helsinki: Edita Prima.

Sipilä, L. N.d. Kauppa muuttuu. Muuttuuko markkinointi? MARK Suomen markkinointiliitto ry:n Internet-julkaisu. Viitattu 30.9.2015. <http://www.mark.fi/artikkeli/kauppa-muuttuu-muuttuuko-markkinointi/>.

Trumpf. N.d. Fascination of Sheet Metal. Ladattavat esimerkkijulkaisut kirjasta Trumpf-yhtiön Internet-sivustolta Chapter 2 (Sheet metal – discover the possibilities), 6 (Bending: the third dimension) ja 7 (Joining Technology). Viitattu 21.10.2015. <http://www.trumpf.com/en/innovation/media-center/books/fascination-of-sheet-metal/samplers.html>

What is usability? 2006. Usabilitynet.org -Internetsivun artikkeli käytettävyydestä. Viitattu 27.10.2015. www.usabilitynet.org , Usability fo Managers, basics of usability, what is usability?

Ympäristö huomioidaan sekä tuotannossa että kalusteissa itsessään. N.d. Pikval Oy:n Internet-sivut. Viitattu 2.11.2015. <http://www.pikval.fi/pikval/pikval-ja-ymp%C3%A4rist%C3%B6/>.

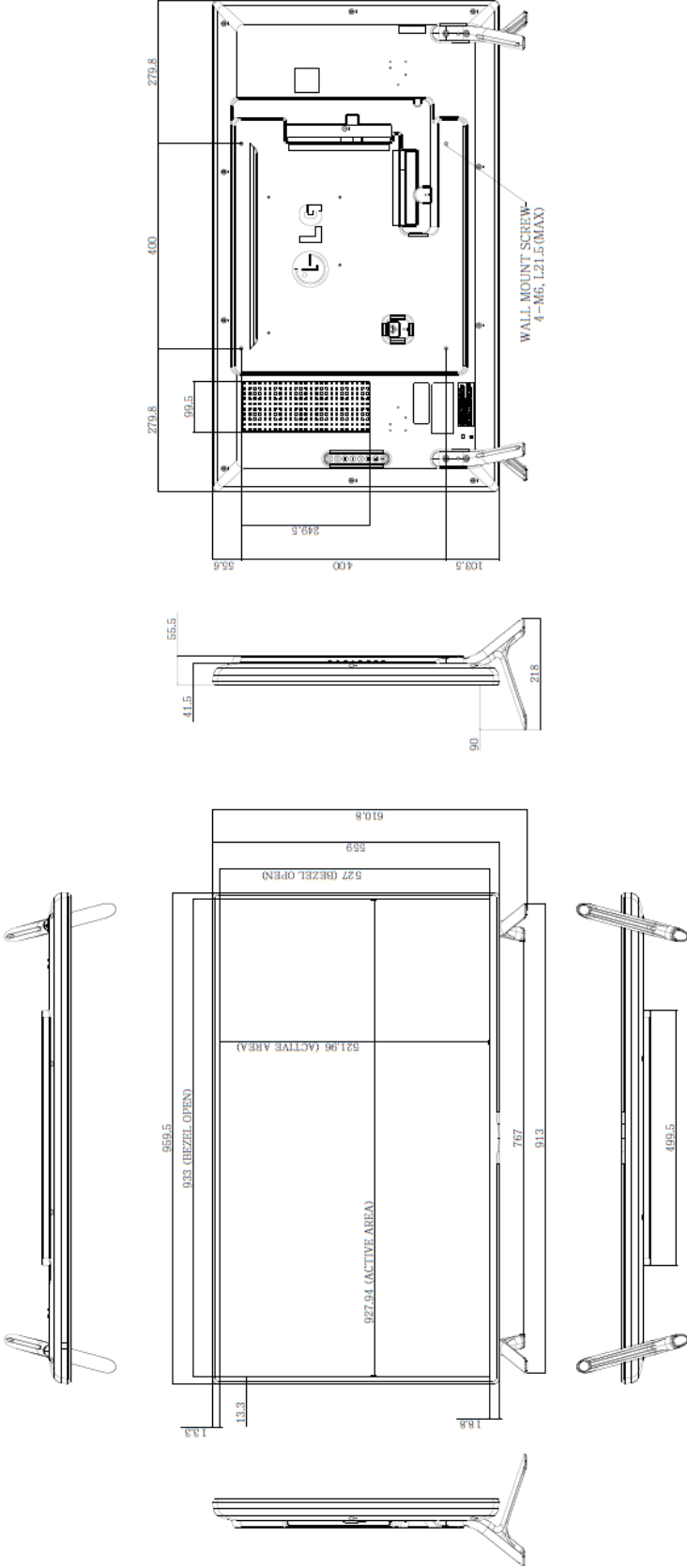
Yrityksen arvot. N.d. Pikval Oy:n Internet-sivut. Viitattu 2.11.2015. <http://www.pikval.fi/pikval/yrityksen-arvot/>.

Zhang, J. N.d. Stamping Design Guidelines. Internet-julkaisu. Viitattu 14.10.2015. http://bowmannz.com/yahoo_site_admin/assets/docs/Stamping-DesignGuideline.92222443.pdf.

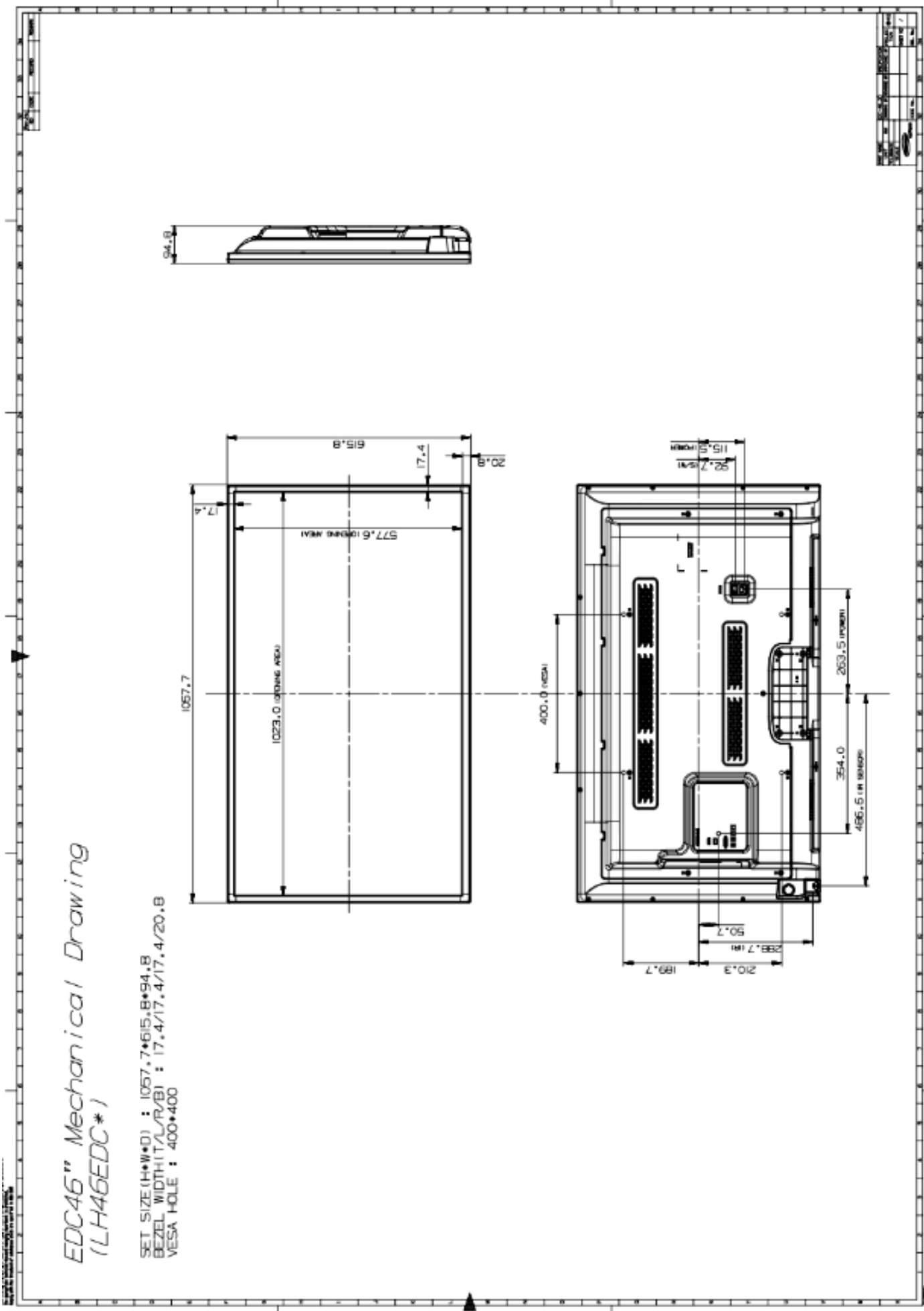
Liitteet

Liite 1. LG 42LS33A-DS-näytön mitat

[42LS33/35/53/55 SET DIMENSION]
- Applied Model : 42LS33A/35A/53A/55A
- Unit : mm



Liite 3. Samsung EDC46 DS-näytön mitat



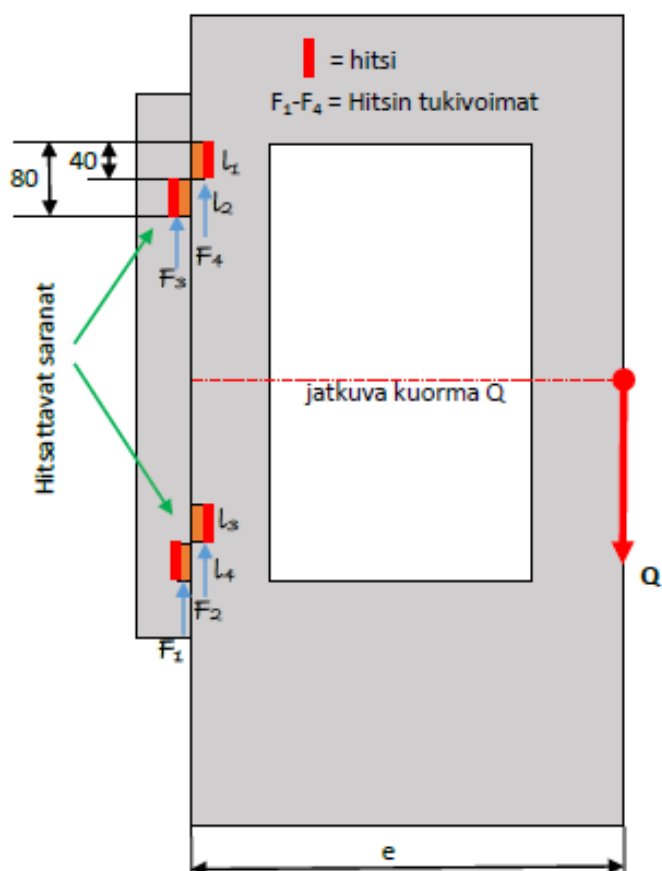
Liite 4. Saranoiden voimaliitos

Liite 4. Saranoiden voimaliitos

Voidaan olettaa, että hitsi kestää varmasti, kun Q sijoitetaan eturungon uloimpaan kohtaan 700 mm päähän hitsauslinjasta.

Voimat F_1 , F_2 , F_3 ja F_4 ottavat vastaan sekä leikkaus-, että taivutusjännityksen, jakaen sen tasaisesti.

Havaintokuva tilanteesta:



Materiaali DC01:

$R_e = 280 \text{ N/mm}^2 \rightarrow$ myötölujuus

$R_m = 320 \text{ N/mm}^2 \rightarrow$ murtolujuus f_u

$\beta_w = 0,80$

$\gamma_{M2} = 1,25$

$l = 40 \text{ mm}$

$a = 3 \text{ mm}$

$m_{peili} = 22,12 \text{ kg}$

$m_{eturunko} = 14,72 \text{ kg}$

$e = 700 \text{ mm}$

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$

$$Q = (m_{peili} + m_{eturunko}) \times g = 361,4004 \text{ N}$$

Määritetään yhden hitsin a -mitaksi 3 mm ja pituudeksi 40 mm. Tutkitaan yksinkertaistetulla menetelmällä, onko hitsi kestävä.

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} a l_{eff}$$

jossa,

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M2}} = \frac{320 \text{ N/mm}^2}{\sqrt{3} \times 0,80 \times 1,25} = 184,75 \text{ N/mm}^2$$

joten,

$$F_{w,Rd} = 184,75 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 3 \text{ mm} \times 40 \text{ mm} = 22170,25 \text{ N}$$

$$F_1 = F_2 = F_3 = F_4 = F_{w,Rd} = 22170,25 \text{ N}$$

Lasketaan T_{sall} momentin avulla yhdelle hitsille (vp = vastapäivä).

$$vp \sum M_p = 0: -F_{w,Rd} \times e + T_{sall} = 0$$

$$T_{sall} = F_{w,Rd} \times e$$

$$T_{sall} = 22170 \text{ N} \times 700 \text{ mm} = 15519175 \text{ Nmm} \\ = 155192 \text{ Nm}$$

Kun Q aiheuttaa 361,4 N staattisen kuorman ja $Q \times e = 252980,28 \text{ Nmm} = 2530 \text{ Nm}$, voidaan todeta hitsin kestävän eli $F_{w,Rd} \geq F_{w,Ed}$. Lisäksi muut vaatimukset täyttyvät:

$$30 \text{ mm tai } 6a < l_{eff} < 150a \rightarrow \text{OK}$$

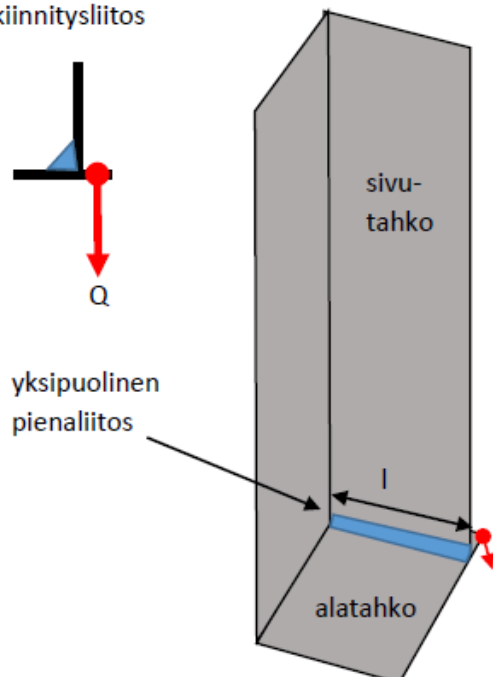
$$a \geq 3 \text{ mm} \rightarrow \text{OK}$$

$$a > \sqrt{t} - 0,5 \text{ mm} \rightarrow \text{OK} (a > 0,72 \text{ mm})$$

$$Q < F_{w,Rd} \text{ ja } Q \times e < T_{sall}$$

Liite 5. Takarungon sivu- ja alatahkojen välillä oleva kiinnityслиitos

Liite 5. Takarungon ala- ja sivutahkon välinen kiinnityслиitos



Materiaali DC01

$R_e = 280 \text{ N/mm}^2 \rightarrow$ myötölujuus

$R_m = 320 \text{ N/mm}^2 \rightarrow$ murtolujuus f_u

$\beta_w = 0,80$

$\gamma_{M2} = 1,25$

$l = 100 \text{ mm}$

$a = 3 \text{ mm}$

$m_{peili} = 22,12 \text{ kg}$

$m_{eturunko} = 14,72 \text{ kg}$

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Määritetään a -mitaksi 3 mm ja todistetaan, että se kestää. Kuorma on niin lähellä hitsauspintaa, joten voidaan olettaa, ettei momentilla ole suurta vaikutusta hitsin kestävyYTEEN.

$$Q = (m_{peili} + m_{eturunko}) \times g = 361,4004 \text{ N}$$

$$Q = F_{w,Ed}$$

Todistetaan hitsin kestävyys kaavalla:

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} a l_{eff}$$

jossa,

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M2}} = \frac{320 \text{ N/mm}^2}{\sqrt{3} \times 0,80 \times 1,25} = 184,75 \text{ N/mm}^2$$

joten,

$$F_{w,Rd} = 184,75 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 3 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} = 55425,6 \text{ N}$$

Koska $F_{w,Rd} > F_{w,Ed}$, hitsi kestää

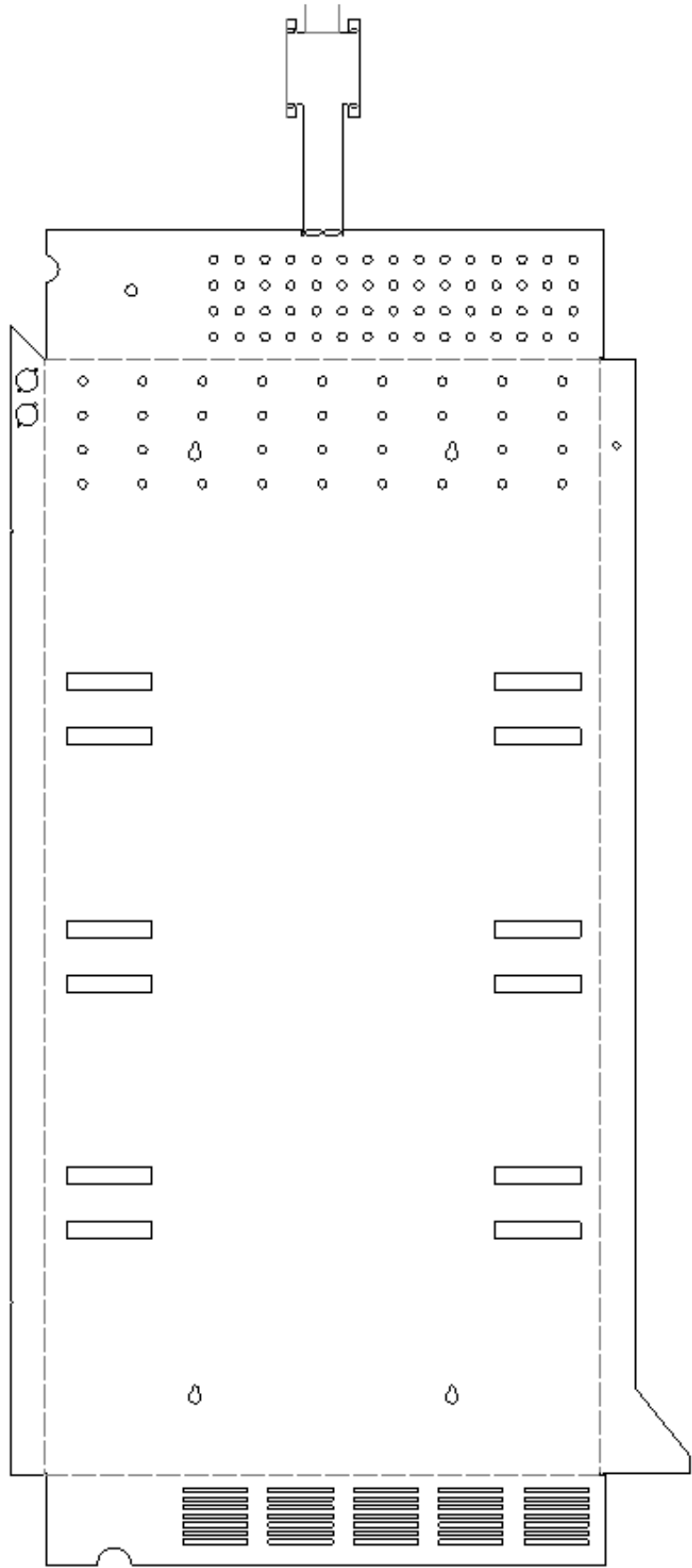
Tarkistukset:

$$30 \text{ mm tai } 6a < l_{eff} < 150a \rightarrow \text{OK}$$

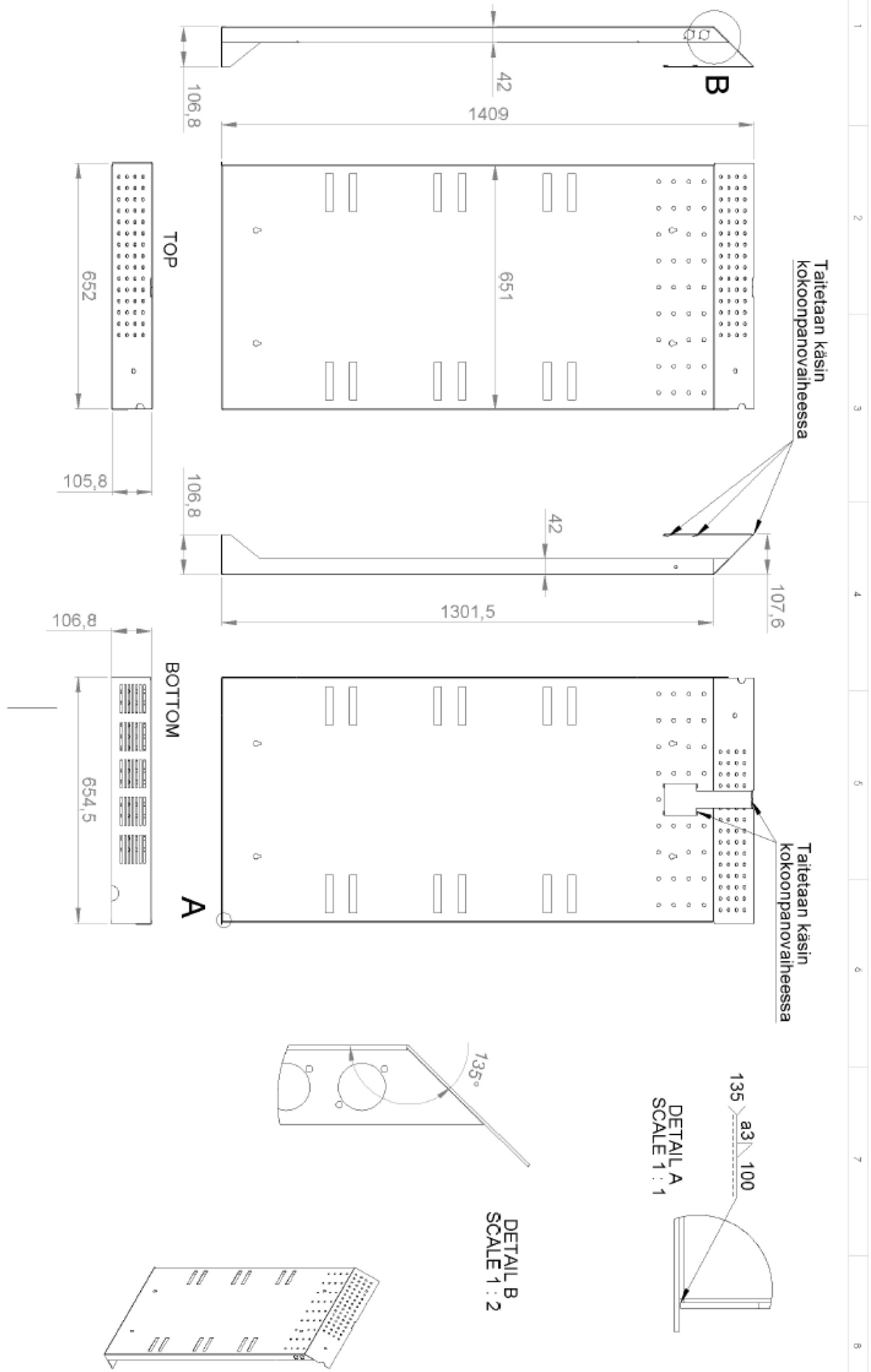
$$a \geq 3 \text{ mm} \rightarrow \text{OK}$$

$$a > \sqrt{t} - 0,5 \text{ mm} \rightarrow \text{OK (a > 0,72 mm)}$$

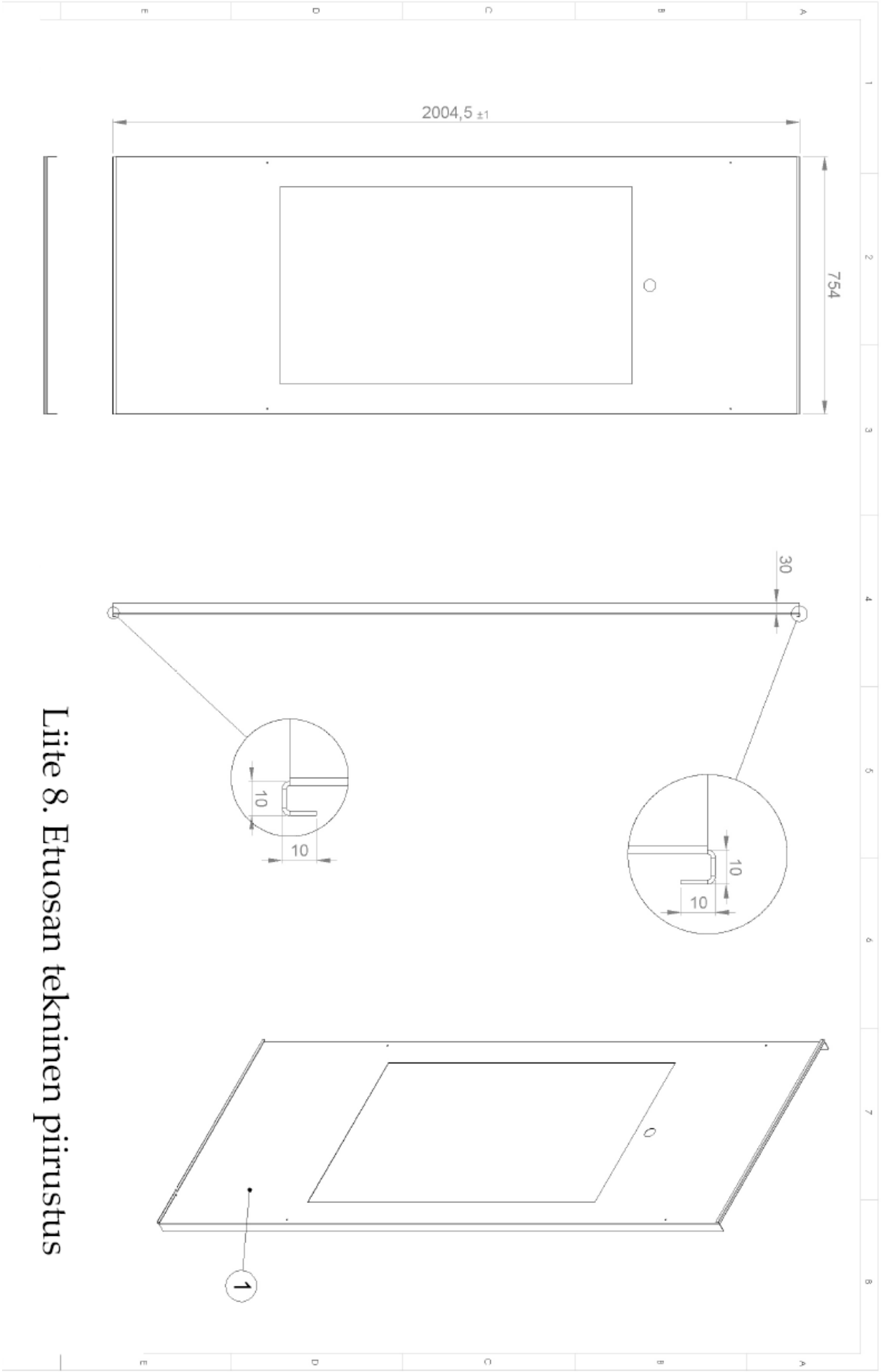
Liite 6. Takarungon levityskuva



Liite 7. Takarungon tekninen piirustus



Liite 8. Etuosan tekninen piirustus

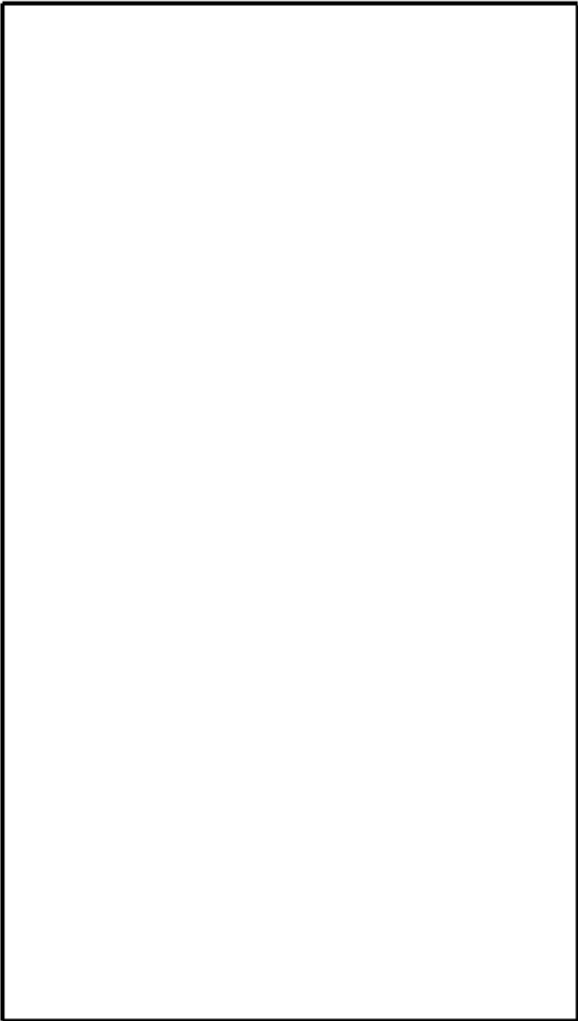


Liite 8. Etuosan tekninen piirustus

Liite 9. Etuosan levityskuva

*

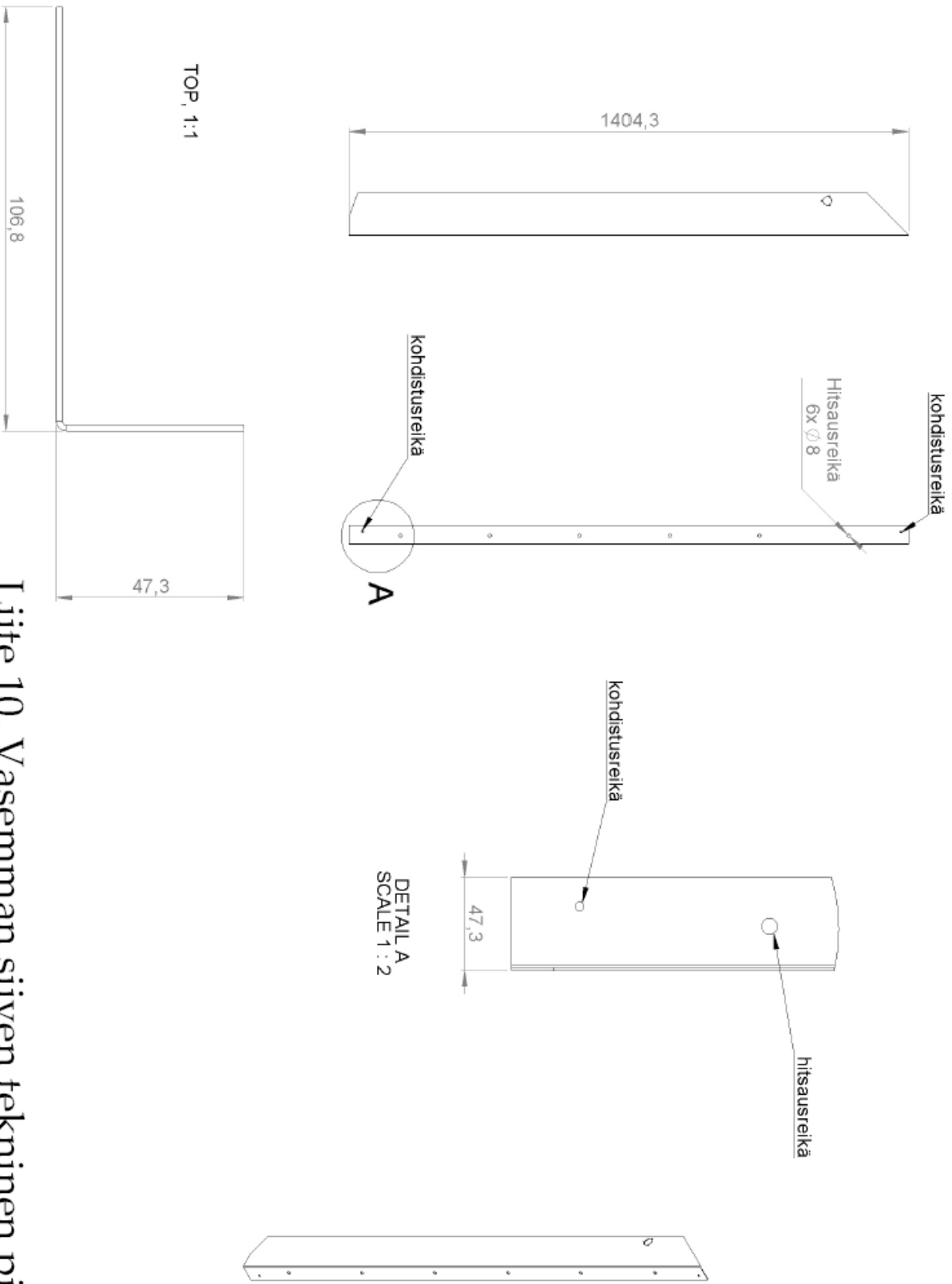
*



*

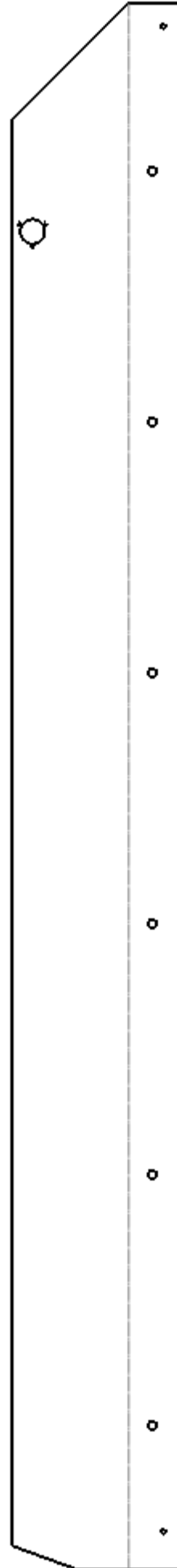
*

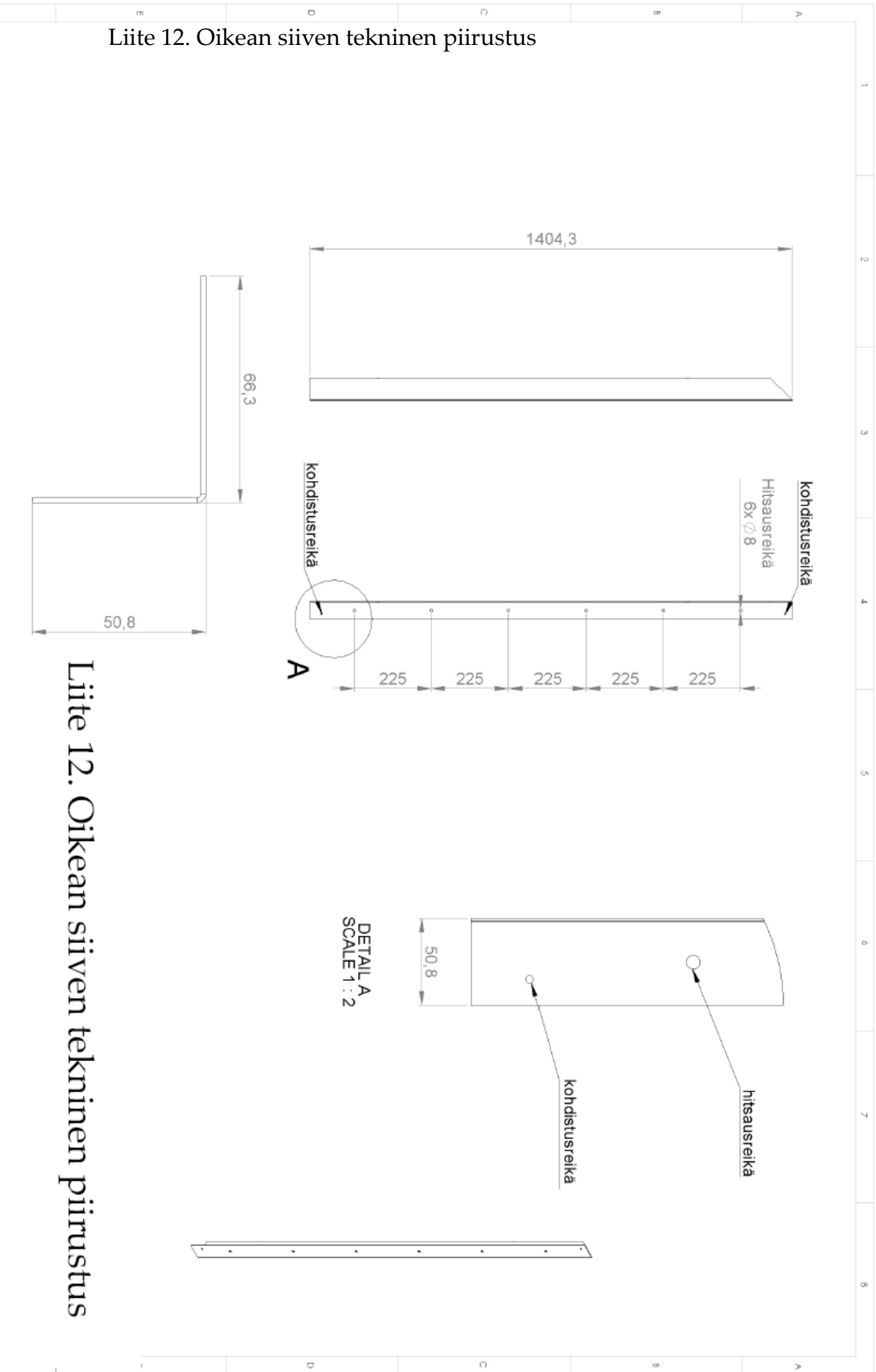
Liite 10. Vasemman siiven tekninen piirustus



Liite 10. Vasemman siiven tekninen piirustus

Liite 11. Vasemman siiven levityskuva



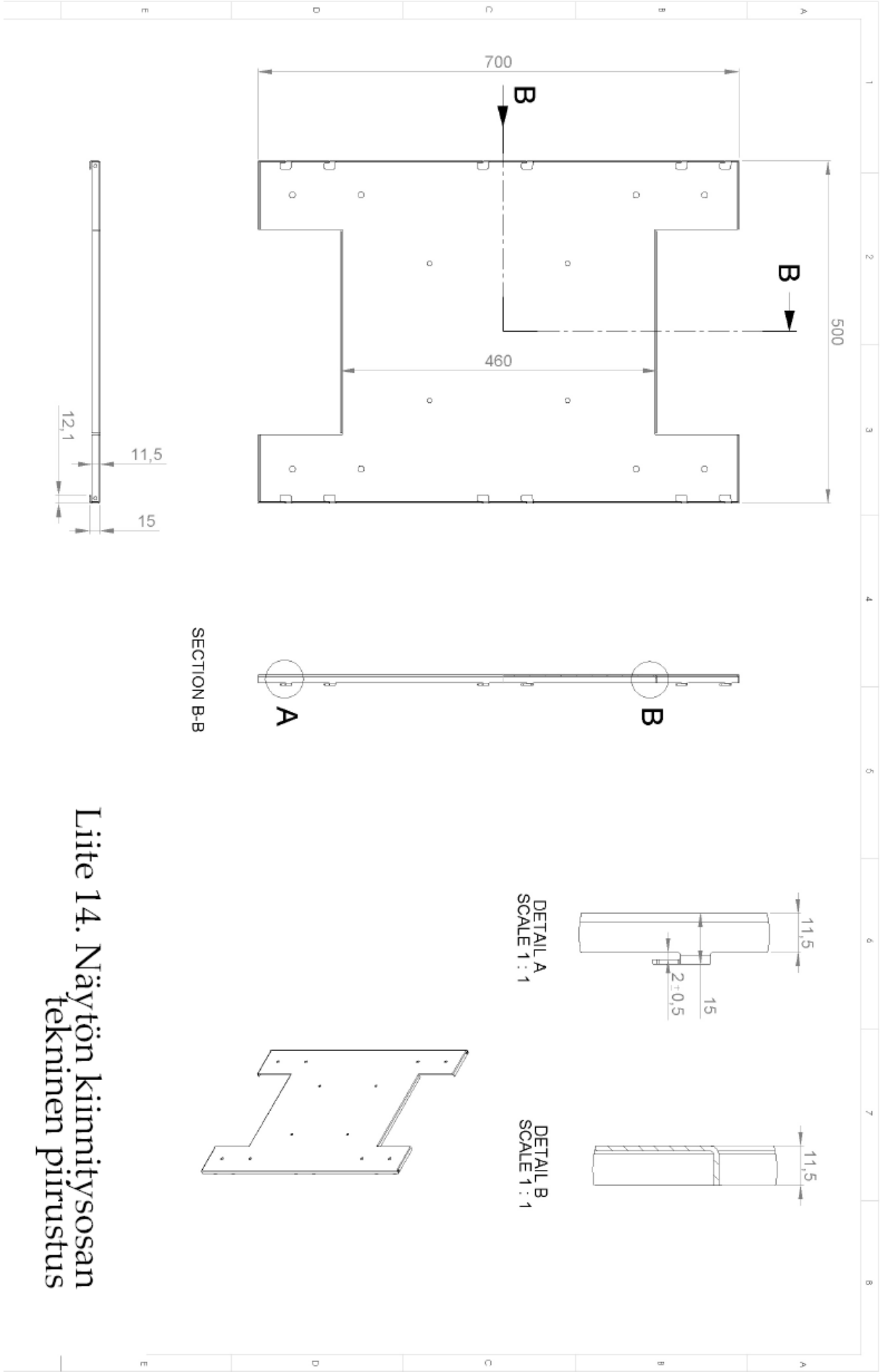


Liite 12. Oikean siiven tekninen piirustus

Liite 13. Oikean siiven levityskuva



Liite 14. Näytön kiinnitysosan tekninen piirustus



Liite 14. Näytön kiinnitysosan
tekninen piirustus

Liite 15. Näytön kiinnitysosan levityskuva

